

XI



CONGRESSO NACIONAL DE GEOLOGIA

GEOCIÊNCIAS E DESAFIOS GLOBAIS

XI CNG 2023 - Livro de Resumos



Coordenadores da Edição

F. C. Lopes, P. A. Dinis, L. V. Duarte, P. P. Cunha

16 a 20 de julho de 2023
Universidade de Coimbra



16 a 20 de julho de 2023

Universidade de Coimbra

Livro de Resumos

Coordenadores da Edição:

F. C. Lopes, P. A. Dinis, L. V. Duarte, P. P. Cunha

Edição: Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Autores: Vários

Capa e contracapa: F. C. Lopes

Imagem de capa: Formação do Pulo do Lobo. Faixa Piritosa Ibérica

Imagem de contracapa: Protomilonito de Lagoa. Maciço de Morais

Conceção gráfica e paginação: F. C. Lopes

Data de publicação: julho de 2023

Tipo de suporte: Eletrónico

I.S.B.N.: 978-989-98914-8-7

Os trabalhos contidos no presente volume devem ser citados da seguinte maneira:

Autor, N. (2023) “Título do Resumo”. In Lopes, F. C., Dinis, P. A., Duarte, L. V. e Cunha, P. P. (Coords.). XI Congresso Nacional de Geologia: Geociências e Desafios Globais. Livro de Resumos. Coimbra, 16-20 julho de 2023, *Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra (eds.)*. Págs. ISBN: 978-989-98914-8-7

Prefácio

Quando o XI Congresso Nacional de Geologia (XI CNG) começou a ser desenhado, há cerca de 6 anos, tomámos a opção de dar destaque aos grandes desafios globais da atualidade, tendo presente os objetivos do Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 2030. Estávamos longe de prever os eventos dramáticos e as grandes transformações que iriam marcar os anos que se seguiram. O mundo mudou, mas os temas sob foco de então mantêm total atualidade.

O programa científico do XI CNG foi sendo construído com a certeza do papel que as geociências terão de desempenhar no tratamento de múltiplas questões cruciais para o desenvolvimento da humanidade. Podemos destacar tudo quanto tem a ver com a disponibilidade de matérias primas, com o conhecimento da história da Terra, incluindo a variabilidade climática e a evolução da vida no planeta, com os riscos naturais, que sabemos acrescidos quando se nota forte pressão sobre sistemas naturais muito dinâmicos, com a disponibilidade de água de qualidade, com as fontes de energia, mais ou menos convencionais, e os esforços para o aprisionamento de gases associados ao consumo de combustíveis fósseis, com a qualidade ambiental e o entendimento do fatores, naturais e antrópicos, responsáveis pela sua degradação, com a educação e transmissão a todos de conhecimentos fundamentados.

Para o presente volume, intitulado “XI Congresso Nacional de Geologia: Geociências e Desafios Globais. Livro de Resumos”, recebemos, sob a forma de resumos alargados de 2 páginas, perto de 400 contribuições científicas. Os trabalhos apresentados agora estão distribuídos por 20 sessões científicas temáticas, abarcando todas as áreas de especialização relevantes no domínio das geociências, tanto ao nível da ciência fundamental como aplicada. Cada uma das várias sessões foi coordenada por 3 investigadores, escolhidos por apresentarem reconhecida atividade nos respetivos domínios temáticos específicos, e que se encontram associados a diferentes instituições que produzem conhecimento técnico-científico em geociências. Procurou-se assegurar, nesta seleção, um valorizado pluralismo, com tudo o que isso pode representar em termos de diferentes visões, preocupações regionais ou relações de proximidade. Todos os trabalhos passaram por um processo de revisão conduzido pelos coordenadores das várias sessões e envolvendo outros especialistas que integram a Comissão Científica do XI CNG. Tentámos garantir que, preservado o cunho pessoal dos autores, todas as contribuições atingiam os níveis de qualidade que devem acompanhar publicações emanadas de reuniões científicas da natureza dos congressos nacionais de geologia.

Surgem aqui apresentados os resultados da investigação desenvolvida em todo o território nacional, do continente às ilhas, incluindo parte das suas áreas imersas. Encontram-se ainda trabalhos focados em objetos geológicos de áreas mediterrânicas além-fronteiras, de territórios da Comunidade de Países de Língua Portuguesa e muito mais além, como se poderá ver ao desfolhar estas páginas.

Em síntese, com este livro de resumos acreditamos conseguir espelhar boa parte da diversidade temática e geográfica do trabalho desenvolvido pela comunidade científica portuguesa ou com ligação ao país, mantendo padrões de qualidade e tendo presente a contribuição fundamental que as geociências terão para o tratamento de problemas com pertinência social neste planeta em que habitamos.

Pedro Dinis

Instituições Organizadoras



Comissão Organizadora

Pedro Dinis (DCT, FCTUC)

Alcides Pereira (DCT, FCTUC)

Pedro Proença e Cunha (DCT, FCTUC)

José Carlos Kullberg (Sociedade Geológica de Portugal)

José Pacheco (UAç, organização do X CNG)

Comissão Executiva

Pedro Dinis (DCT, FCTUC)
Alcides Pereira (DCT, FCTUC)
Pedro Proença e Cunha (DCT, FCTUC)
Alexandre Tavares (DCT, FCTUC)
Ana Castilho (DCT, FCTUC)
Eric Font (DCT, FCTUC)
Fernando Carlos Lopes (DCT, FCTUC)
Fernando P. Figueiredo (DCT, FCTUC)
Joana Ribeiro (DCT, FCTUC)
Lídia Catarino (DCT, FCTUC)
Luís Vítor Duarte (DCT, FCTUC)
Manuela Vinha (DCT, FCTUC)
Pedro Callapez (DCT, FCTUC)
Pedro Costa (DCT, FCTUC)
Pedro Santarem Andrade (DCT, FCTUC)

Comissão Científica

Alexandre Araújo (UÉv.)	Lídia Quental (LNEG)
Alcides Pereira (UC)	Luís Vítor Duarte (UC)
Alcino Oliveira (UTAD)	Luis Ferreira Gomes (UBI)
Alexandre Lima (UP)	Luís Figueiredo Neves (UC)
Alexandre Tavares (UC)	Luís Matias (UL)
Ana Cristina Azeredo (UL)	Luís Pinheiro (UAv)
Ana Castilho Lopes (UC)	Manuel Senos Matias (UAv)
Ana Paula Silva (UNL)	Maria Elisa Preto Gomes (UTAD)
António Chambel (UÉv)	Maria Teresa Albuquerque (IPCB)
António Mateus (UL)	Maria da Conceição Freitas (UL)
Aurora Rodrigues (IH)	Maria Helena Henriques (UC)
Carla Candeias (UAv)	Maria dos Anjos Ribeiro (UP)
Carlos M. Silva (UL)	Maria Manuela Vinha (UC)
César Andrade (UL)	Maria Rosário Azevedo (UAv)
Cristina Veiga Pires (UAlg)	Marina Cabral Pinto (UAv)
David Vaz (UC)	Mário Cachão (UL)
Deolinda Flores (UP)	Mário Q. Ferreira (UC)
Diamantino Pereira (UM)	Mário Gonçalves (FCUL)
Eduardo Ferreira da Silva (UAv)	Mário Machado Leite (LNEG)
Elsa Gomes (UC)	Mário Cardoso Mendes (UC)
Eric Claude Font (UC)	Nelson Rodrigues (UC)
Fernando P. Figueiredo (UC)	Nicolau Wallenstein (IVAR-UAç)
Fernando Carlos Lopes (UC)	Nuno Alte da Veiga (UC)

Fernando Marques (UL)	Octávio Mateus (UNL)
Fernando Noronha(UP)	Óscar Ferreira (UAI)
Fernando Pacheco (UTAD)	Paula Carreira (IST)
Fernando Pita (UC)	Paula Freire (LNEC)
Fernando Rocha (UAv)	Paulo Fernandes (UAlg)
Filipa Naughton (IPMA)	Paulo Pereira (UM)
Filipe Telmo Jeremias (LNEC)	Paulo Legoinha (UNL)
Filipe M. Rosas (UL)	Pedro Andrade (UC)
Filomena Amador (UAb)	Pedro Costa (UC)
Helena Cristina Brites (FCUP)	Pedro P. Cunha (UC)
Helena Sant'Ovaia (UP)	Pedro Dinis (UC)
Ícaro D. Silva (UL)	Pedro Nogueira (UÉv)
Isabel Margarida Antunes (UM)	Pedro M. Pina (UC)
Isabel Fernandes (UL)	Pedro Terrinha (IPMA)
Isilda Rodrigues (UTAD)	Pedro Callapez Tonicher (UC)
Joana Machado Ribeiro (UC)	Ricardo Ramalho (UCardiff)
Joana S. Torres (UC)	Ricardo Pereira (UNL)
João Cabral (UL)	Rita Solá (LNEG)
João Duarte (UL)	Ruben Dias (LNEG)
José A. Almeida (UNL)	Rui Coutinho (IVAR-UAç)
João Pratas (UC)	Rui Dias (UÉv)
Jorge C. Pedro (UÉv)	Rui Taborda (UL)
Jorge Relvas (UL)	Silvério Figueiredo (IPT)
José Azevedo (UC)	Susana Custódio (UL)
José Brilha (UM)	Telmo Santos (UL)
José V. Cruz (IVAR-UAç)	Teresa Ferreira (UAç)
José C. Kullberg (UNL)	Teresa Leitão (LNEG)
José Madeira (UL)	Teresa Melo (IST)
José Paulo Monteiro	Tiago Alves (UCardiff)
José Pacheco (IVAR-UAç)	Vasco Mantas (UC)
José Lopes Velho (UAv)	Zélia Pereira (LNEG)
Lídia Catarino (UC)	

Comissão Editorial

Fernando Carlos Lopes (*Universidade de Coimbra*)
 Pedro Dinis (*Universidade de Coimbra*)
 Luís Vítor Duarte (*Universidade de Coimbra*)
 Pedro Proença e Cunha (*Universidade de Coimbra*)

Patrocinadores



Entidades Apoiantes



Índice Geral

<i>Resumos das Sessões Científicas</i>	1
Conferências	3
J. L. Gaspar Perigos naturais, avaliação de riscos e resposta a situações de emergência no arquipélago dos Açores: análise retrospectiva e prioridades para o futuro	5
A. Mateus A inevitabilidade da prospecção mineral e mineração nas etapas futuras do desenvolvimento da Civilização Humana	6
R. Leinfelder The Anthropocene – from Earth System Analysis and Sedimentology to Futures Literacy	7
J-T Vasquez-Garrido Submarine volcanism in the Canary Islands in the 21st century	8
Comunicações	9
<i>Sessão Científica 1 (SC_1) – Mineralogia e Petrologia</i>	11
R. Caldeira, M. Gonçalves, F. Guimarães, P. Rodrigues, S. Walter, A. Guedes e G. ter Maat O projecto EXCITE	13
C. Carvalho e I. Bobos Estudo mineralógico e geoquímico do jazigo de Sn-W da Bejanca (Viseu, Portugal Central): resultados preliminares	15
J. A. Ferreira, H. Brites and M. A. Ribeiro The Pedregal Migmatitic Complex (Porto region): diatexite U-Pb zircon age revisited and new oxygen isotope data	17
M. Freitas, V. H. Magalhães, S. Geilert, K. Wallmann Serpentinite Mud Volcanism: A Case Study on Natural Mineral Carbonation	19
M. E. Gomes, F. Martins, J. A. Nogueira Neto, M. R. Azevedo, F. Corfu e C. Tassinari Complexo Migmatítico e Granitóides de Bemposta (Zona Centro Ibérica, NE de Portugal): geocronologia e evolução tectónica	21
A. Gonçalves, H. Sant’Ovaia and F. Noronha Zircon U-Pb dating and Lu-Hf isotopes of granite intrusions from North and Central Portugal: emplacement age and source of magma	23
G. Ínsua-Pereira, I. Bobos and C. Pinto de Meireles Serpentine-to-chlorite transformation in serpentinized ultrabasic rocks from the Upper Allochthonous Terrane of the Bragança Complex, NE Portugal	25

A. Lorenz, B. C. Rodrigues, J. Pamplona e M. Peternell Pluma magmática no Granito de Lavadores (V. N. Gaia, NW Portugal)	27
I. Morais, L. Rosado, L. Albardeiro, J. Mirão, M. J. Batista e J. X. Matos Um novo método de prospeção geoquímica para a identificação de depósitos profundos do tipo VMS. Aplicação ao depósito de Cu-Zn de Neves-Corvo, Faixa Piritosa Ibérica	29
I. Pereira, T. Bento dos Santos, V. Soares, B. Cotrim e P. Castro A profusão de granitos anatócticos na Zona Centro Ibérica: modelação das condições de fusão	31
H. Sant’Ovaia, C. Cruz and F. Noronha Magnetic spherules in soils from Regoufe mining area: features and origin	33
S. L. R. Sêco, G. S. Luís, F. P. Domingos, A. J. S. C. Pereira, L. V. Duarte e F. Rocha Associações entre radioisótopos, mineralogia e carbono orgânico total em fácies ricas em matéria orgânica (Jurássico Inferior, Bacia Lusitânica)	35
R. J. Silva, I. Morais e E. M. C. Gomes Petrografia de litologias ferro-manganesíferas associadas ao Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS), Faixa Piritosa Ibérica, Aljustrel	37
A. R. Solá, M. Chichorro, P. Cachapuz e T. Bento dos Santos Novos dados U-Pb em zircão do Maciço de Évora e correlação com as unidades basais da Zona de Galiza-Trás-os-Montes	39
A. Soares de Sousa, M. García-Vallès e E. Gomes Caracterização Gemológica de Safira Preenchida com Vidro de Cobalto e análise de aspetos discriminatórios usando FTIR	41
R. J. S. Teixeira, M. E. P. Gomes, P. B. Silva e C. A. P. Meireles Mineralogia e petrologia dos granitos variscos sin-D3 da região de Santa Comba de Rossas, norte de Portugal	43
Sessão Científica 2 (SC_2) – Geomorfologia	45
P. Í. C. Aderaldo, A. Perez Filho e P. P. Cunha Unidades morfosedimentares do baixo curso do rio Piranhas-Açu, Rio Grande do Norte (Brasil)	47
C. S. J. Bonga, A. Gomes, F. C. Lopes e P. P. Cunha Caraterização geomorfológica dos <i>inselbergs</i> do setor Malema-Ribáuè da Província de Nampula (Moçambique)	49
J. Costa, A. Gomes and E. Figueira Geomorphological analysis of Castro de Laboreiro area (PNPG) with LiDAR data	51
R. Fagundes Silva e R. Marques Monitorização geodésica e inclinométrica de um movimento de vertente: um caso de estudo no lugar da Maia (Ilha de Santa Maria, Açores)	53
E. Figueira, A. Gomes e J. Costa Cartografia geomorfológica das formas glaciárias da Serra Amarela (PNPG)	55

M. P. Gouveia, A. A. Martins, P. P. Cunha, A. Gomes, C. Falguères, P. Voinchet, M. Stokes, B. Caldeira, J. Cabral, J.P. Buylaert, A. S. Murray, J.J. Bahain, S. Figueiredo e P. Yang	57
Levantamento diferencial evidenciado pelas escadarias de terraços marinhos do Cabo Espichel e do Cabo Raso durante o Plistocénico	
R. Henriques, J. Correia, P. Gomes, A.M. Gomes, J.P. Maia, P. Peixoto, J. Silva e P. Pereira	59
Estudo da dinâmica recente no litoral norte de Portugal com recurso a veículos aéreos não tripulados e fotogrametria	
J. C. Kullberg, P. Lamas, C. Galhano, P. Sá e T. Malho	61
Conhecimento da evolução da Arriba Fóssil da Costa de Caparica para o estabelecimento de modelo de monitorização	
C. Lopes, P. Pereira, Z. Teixeira and D. I. Pereira	63
Assessment of the geomorphological diversity indices of Portugal mainland	
P. Pereira, R. Henriques e D.I. Pereira	65
Utilização de LiDAR na identificação de vestígios glaciários na Serra da Peneda	
R. S. Ramalho, M. Andrade, J. Madeira, R. Quartau, A. Pimentel, A. Hernandez, A. Rodrigues, G. Helffrich and C. Thomas	67
The multi-generational slump of Fajãzinha/Fajã Grande, Flores Island (Azores)	
A. O. Tavares, J. L. Barros e P. Freire	69
A zona costeira de Portugal Continental: um território de risco, complexidade e diversidade	
Sessão Científica 3 (SC_3) – Paleontologia	
B. Agbulut, A. Sanches, M. Vieira e L. Castro	73
Aplicação de métodos Machine Learning no reconhecimento automático de dinoflagelados: caso de estudo para a espécie <i>Batioladinium longicornutum</i>	
B. Agbulut, M. Vieira and L. Castro	75
Preliminary palynostratigraphy results from the Lower Cretaceous Munk Marl Bed (North Sea, Norway)	
P. M. Callapez, R.V. Gomes, M.V. Gomes, R. Pimentel	77
A fauna de invertebrados “sub-fósseis” do sítio Islâmico de Ponta do Castelo (sécs. XII-XIII, Carrapateira, SO Portugal): revelações sobre a exploração e o consumo de recursos marinhos numa região costeira quase intocada pelo Homem	
I. S. Carvalho, P. P. Cunha e S. D. Figueiredo	79
Pegadas de megaterópodes na “Formação <i>Pholadomya protei</i>” (Oxfordiano superior), no Cabo Mondego (Bacia Lusitânica)	
L. Castro e P. M. Callapez	81
Quistos de dinoflagelados do Cenomaniano da Nazaré: lista taxonómica atualizada e contexto na Plataforma Carbonatada Ocidental Portuguesa	
V. Correia, Z. Pereira, J. B. Riding, L. V. Duarte, M. H. Henriques and P. Fernandes	83
Early and Middle Jurassic palynostratigraphy of the Lusitanian Basin in the proto-Atlantic context	

V. D. Crespo, C. Sequero, M. Rios, D. Estraviz-López, A. Gamonal, R. Martino, M. Ricetto, P. M. Callapez, P. Legoinha and O. Mateus Revisiting the classical small mammal assemblage from the Eocene site of Silveirinha: a fresh look at old collections	85
R. Domingos, P. Correia, P. Legoinha e P. M. Callapez Estado da arte sobre os corais pleurodictiformes (Anthozoa, Tabulata) do Devónico de Portugal	87
S. D. Figueiredo, I. S. Carvalho, P. P. Cunha, C. X. Pereda-Suberbiola, C. N. de Carvalho e I. Diaz-Martínez Pegadas de terópodes da Formação de Papo-Seco (Barremiano inferior, Cabo Espichel, Bacia Lusitânica)	89
S. D. Figueiredo, C. N. de Carvalho, P. P. Cunha, C. Salgueiro, S. Medeiros, J. Forte e R. F. Anastácio Novas pegadas de dinossauros do Jurássico Médio de Portugal	91
J. Gardoki, A. Cearreta, M. J. Irabien, J. Gómez-Arozamena, V. Villasante-Marcos, A. García-Artola, C. Galaz-Samaniego, C. Peñalba and F. Bessa Anthropogenic impacts on intertidal sediments from the inner Ría of Ferrol: Current and historical perspectives	93
E. Malafaia, P. Mocho, F. Escaso e F. Ortega O registo fóssil de vertebrados da região de Pombal: contributo para o conhecimento das faunas do Jurássico Superior da Bacia Lusitaniana	95
M. Mendes, G. Descamps, P. Fernandes, G. Lopes, R. Jorge and Z. Pereira Lower Cretaceous palynology and palaeoenvironments of Algarve Basin: the Arrifes section	97
M. M. Mendes, P. P. Cunha e P. Dinis Palinologia do Cretácico Inferior de Catefica (Torres Vedras) – estado de conhecimentos	99
M. M. Mendes, R. Pereira, P. P. Cunha, I. S. Carvalho, E. K. Piovesan, P. Dinis e R. M. Melo Primeiro registo de âmbar no Cretácico Inferior de Portugal	101
P. Mocho, F. Escaso, F. Marcos-Fernández, A. Páramo, A. Pérez-García, D. Vidal and F. Ortega New discoveries from the Upper Cretaceous of the Iberian Ranges (Spain): an input to reconstruct the evolutionary history of the European titanosaurs	103
P. Mocho, E. Malafaia, F. Escaso, J. M. Gasulla, F. Marcos-Fernández, I. Narváez, J. Órfão, A. Páramo, D. Vidal and F. Ortega The giant sauropod dinosaurs of Pombal: new discoveries	105
P. Mocho, P. Yagüe, F. Escaso, J. M. Gasulla, J. L. Sanz and F. Ortega Sauropod fossil record from the upper Barremian Arcillas de Morella Formation (Maestrat Basin, Spain)	107
C. Neto de Carvalho, S. Jensen, A. Bayet-Goll, A. Baucon, J. Anacleto and T. Palácios Rusophycus from the Middle Ordovician of Barrancos-Oliva de la Frontera (Portugal-Spain) and Eastern Alborz Mountains (Iran)	109

C. Neto de Carvalho, J. Sequeira e J. Anacleto Casulos de vespas provenientes de paleossolos nos “Calcários da Senhora das Necessidades” (Oligocénico da Península de Setúbal)	111
S. Ozkaya de Juanas, P.M. Callapez, F. Barroso-Barcenilla, M. Berrocal-Casero, P. G. Correia, H. Pereira, R. Pimentel, V. F. Santos and M. Segura Cenomanian-Turonian (Upper Cretaceous) Pectinida (Mollusca, Bivalvia) of Salmanha (Figueira da Foz, Portugal): a didactic resource to the teaching of Earth and Life History	113
H. J. R. Pereira, P. M. Callapez and P. Fernandes The first record of termite coprolites (Blattodea: Isoptera) from the Lower Cretaceous of the Algarve Basin (Southern Portugal)	115
H. J. R. Pereira, P. M. Callapez, P. Fernandes and S. C. Sweetman Preliminary report on the vertebrate fauna from the Lower Cretaceous of the Algarve Basin (Southern Portugal)	117
R. Pereira, O. Mateus, A. Guillaume and M. Moreno-Azanza New occurrence of late Kimmeridgian charophytes from the vertebrate beds of Valmitão (Lourinhã region, Lusitanian Basin, Portugal)	119
S. Pereira e P. Correia Primeiros dados paleontológicos do Carbónico de Águeda (Aveiro, Portugal)	121
S. Pereira, G. Silvério, J. Colmenar e N. Moreira Primeiro registo de trilobites no Silúrico de Portugal	123
Z. Pereira, J. X. Matos, M. Mendes, R. Solá, I. Morais, L. Albardeiro, V. Araújo, N. Pacheco and J. T. Oliveira Biostratigraphic and structural research of the Guedelhinha-Lançadoiras-Algaré sector of the Neves-Corvo mine region, Iberian Pyrite Belt	125
J. Pérez-Cano, H.J.R. Pereira and P. Fernandes The first occurrence of <i>Echinochara lazarii</i> (Charophyta) in Portugal and its biogeographic significance	127
J. Pérez-Cano, H. J. R. Pereira, M. Mendes, Z. Pereira, P. M. Callapez and P. Fernandes Late Barremian–early Aptian charophytes from the Arrifes section (Algarve). Biostratigraphy and correlation with marine domain	129
R. Pimentel, F. Barroso-Barcenilla, M. Berrocal-Casero, P. M. Callapez, S. Ozkaya de Juanas, V. Santos and M. Segura First report of <i>Obaichthys africanus</i> Grande, 2010, from the Cenomanian of Baixo Mondego (Upper Cretaceous, Coimbra, Portugal)	131
V. F. dos Santos, J. Audije-Gil, F. Barroso-Barcenilla, M. Berrocal-Casero, P. M. Callapez, E. Malafaia, S. Ozkaya de Juanas, H. Pereira, R. Pimentel and M. Segura Theropod footprints in the Lower Cretaceous of the Algarve Basin (Porto de Mós, Lagos), Portugal	133
L. Santos, P. Legoinha e P. M. Callapez Foraminíferos miocénicos de Porto Santo (Madeira, Portugal)	135

R. da Silva, B. Camilo, A. Balbino, P. Barrulas, M. Costa, C. Ribeiro Observação dos processos diagenéticos em dentes de saurópodes: métodos geoquímicos que aperfeiçoam estudos isotópicos em Paleontologia	137
R. da Silva, P. Fialho, B. Costa (3), S. Patrocínio, A. Burigo e P. Andrade Novas espécies fósseis e a paleodiversidade de Portugal: uma análise preliminar da Portuguese Fossil Database	139
G. Silvério, G. Machado, J. I. Valenzuela-Ríos, N. Moreira e S. Pereira Paleontologia de conodontes em Portugal: estado da arte	141
N. Vaz Quitinozóários da Camada Vale das Laranjeiras, Formação Brejo Fundeiro, Sinclinal Amêndoa Mação (Ordovício Médio, Portugal)	143
M. Vilas-Boas, P. Fernandes, Z. Pereira and S. Cirilli New palynostratigraphical data of the Silves Group, Algarve Basin	145
Í. Vitón, M. J. Comas-Rengifo Historical collection of Sinemurian (Lower Jurassic) gastropods from the Portuguese “Comissões Geológicas”	147
Í. Vitón, M. J. Comas-Rengifo, L. V. Duarte and A. Goy Ammonoid succession and correlation of the Oxynotum Zone (upper Sinemurian, Lower Jurassic) in the Lusitanian Basin	1 49
Sessão Científica 4 (SC_4) – Sedimentologia e Dinâmica Sedimentar	151
A. Alberto, T. Drago e M. C. Freitas Aplicação da laminografia computadorizada no estudo sedimentar de um ambiente estuarino – resultados preliminares	153
B. S. H. Caetano e P. A. M. Dinis Associações de minerais pesados em depósitos atuais do litoral de Nampula (Moçambique)	155
A. M. Costa, M. C. Freitas e R. Gomes Coelho Transformações ambientais no Mundo Atlântico: como é que o tráfico de pessoas escravizadas transformou a paisagem?	157
A. Cruz, P. Dinis e A. Gomes Controle litológico sobre índices de meteorização química. Um caso de estudo com sedimentos atuais do SW de Angola	159
C. Duarte e P. J. M. Costa Determinação de geoindicadores costeiros em nove praias do sudoeste alentejano	161
E. Font, S. Romão, J. Cascalho, R. Taborda, P. A. Silva, K. Black, M. Wright and J. Poleykett Magnetic tracers of sediment transport	163
M. C. Freitas, A. M. Costa, A. Cruces e R. Fonseca Valores de fundo regionais para metais em sedimentos do Sado	165
M. Inácio, M.C. Freitas, A. G. Cunha e M. Leira Evolução dos sapais da restinga de Tróia (Estuário do Sado) considerando os cenários SSP1-2.6 e SSP5-8.5 do IPCC	167

S. Nave and L. Rebêlo	
Patterns of sediment distribution on the Portuguese southeastern coast	169
A. Shchepetkina, T. Drago, C. Freitas and F. Fatela	
Sedimentology and ichnology of middle to lower reaches of the mud-dominated Mira River estuary, Portugal	171
A. Vinhas e A. Rodrigues	
A cobertura sedimentar da plataforma continental do barlavento algarvio: análise sísmo-estratigráfica e evolução recente	173
<i>Sessão Científica 5 (SC_5) – Estratigrafia e Análise de Bacias Sedimentares</i>	175
J. Barata, A. C. Azerêdo, J. Gomes e L. V. Duarte	
Análise de heterogeneidade em rochas carbonatadas a diferentes escalas de observação, em casos de estudo de afloramento (Jurássico Médio, Portugal) e de subsuperfície (Cretácico Inferior, E.A.U.)	177
J. Barata, L. V. Duarte, A. C. Azerêdo e J. Gomes	
Heterogeneidade da sucessão siliciclástico-carbonatada do topo da Formação de Cabo Carvoeiro (transição Jurássico Inferior-Médio), Bacia Lusitânica, Portugal	179
R. Coimbra, U. Heimhofer e F. Rocha	
Serpulid-rich carbonate horizons (Barremian, W Portugal): geochemical approach	181
J. Constantino, P. Dinis, V. Machado e C. Landgraf	
Caracterização mineralógica por DRX de materiais silto-argilosos das formações de Lucula e Chela (pré-sal da Bacia do Baixo Congo, Angola)	183
M. Costa, A. Pinto de Jesus, E. A. Ferreira da Silva e D. Flores	
A Estratigrafia da Bacia Carbonífera do Douro (setor do Pejão) revisitada: um contributo para o seu conhecimento litogeoquímico	185
Í. Dias da Silva, I. Martins and A. Mateus	
Does the lithostratigraphic harmonization of the Beiras Group (Panasqueira-Segura area) disclose any pre-Ordovician structure?	187
L. V. Duarte, J. Barata e C. L. Oliveira	
Aspetos microfaciológicos da Formação da Leba, Proterozoico (Sudoeste de Angola)	189
L. V. Duarte, R.L. Silva, J. G. Mendonça Filho, A. C. Azerêdo e M. J. Comas-Rengifo	
Quimiostratigrafia da Formação de Coimbra (Sinemuriano), Bacia Lusitânica. Significado paleoambiental e potencial de correlação extra bacinal	191
P. Fernandes, J. Hancox, M. Mendes, Z. Pereira, G. Lopes, J. Marques, R. C. G. S. Jorge and L. Albardeiro	
The age and depositional environments of the lower Karoo Moatize Coalfield of Mozambique: insights into the postglacial history of central Gondwana	193
J. X. Matos, Z. Pereira, M. Mendes, L. Albardeiro, A. Díez-Montes, V. Araújo and J. T. Oliveira	
The state of the art of Phyllite-Quartzite Group Lower and Upper sequences, Mid-Late Devonian siliciclastic basin	195

M. Pimenta, M. Kroth, G.-J. Vis e J. P. Trabucho Alexandre Characterisation of the maastricht and kunrade «facies» of the late Maastrichtian to Danian Maastricht Formation in South Limburg, the Netherlands	197
C. Sequero, E. Puértolas, L. Ezquerro, A. Saleiro, F.M. Rotatori, F. Costa, A. R. D. Guillaume, A. E. Fernandes, O. W. M. Rauhut, V. Beccari, C. Mehling e M. Moreno-Azanza Evolução faciológica da Formação de Morrison do Jurássico Superior no centro-norte do Wyoming (Bacia de Bighorn)	199
J. M. Sousa, L. V. Duarte e S. L. R. Sêco Reavaliação estratigráfica da Formação de Coimbra (Sinemuriano) através de dados de radiação gama em sondagens	201
J. M. Sousa, L. V. Duarte e S. L. R. Sêco A importância da Formação de Coimbra no contexto dos sistemas petrolíferos da Bacia Lusitânica	203
Y. Shahzad, I. Pereira, R. Pereira and R. Pena dos Reis Play-Based Exploration of unconventional gas in the pre-Deccan Cretaceous sequence of the offshore Indus Basin, Pakistan	205
Sessão Científica 6 (SC_6) – Geologia Marinha	207
J. Caetano., P. Costa, S. Teixeira e C. Andrade Inundação tsunamigénica e extensão deposicional na Boca do Rio e Salgados (Algarve)	209
P. Costa, L. Feist, K. Reicherter, R. Paris, S. Falvar, J. I. Santiesteban, RV Meteor M-152 scientific team High-resolution X-ray CT-scans on offshore tsunami deposits	211
P. Costa, K. Reicherter, M. de Batist, RV Meteor M-152, RV Belgica 2021-13 and RV Belgica 2022-31 scientific teams Holocene offshore tsunami sedimentary signatures in the NE Atlantic	213
P. Ferreira, C. Inverno, T. Pena, H. Schiellerup and J. González Chemical composition of submarine massive sulphides in the Lucky Strike hydrothermal field	215
D. Gamboa, R. Omira, M. Neres, I. Ramalho, J. Noiva, P. Brito and P. Terrinha Insights into flank collapses along the Gorringe-Hirondelle-Josephine seamount chain on the Southwest Iberian Margin	217
D. Gamboa, R. Omira, P. Terrinha and R. Urgeles Submarine mass-movements offshore Portugal in the scope of the new EuroMediterranean Submarine landSlide (EMSS) database	219
R. Henriques, I. Bosnic, P. Costa, B. Rodrigues, S. Teixeira e C. Andrade Modelação numérica do tsunami de 1755 em duas zonas costeiras do Algarve	221

M. Neres, P. Terrinha, J. Noiva, P. Brito, M. Rosa, L. Batista e C. Ribeiro Novas ocorrências da província alcalina do Cretácico Superior e da Província Magmática do Atlântico Central (Jurássico basal) na Margem Oeste Portuguesa com base em levantamentos magnéticos e outros dados geofísicos marinhos	223
J. Noiva, P. Terrinha, P. Brito, C. Ribeiro and M. Rosa Sorted bedforms along the Alentejo continental shelf, SW Portugal	225
R. Pereira, C. Escada, P. Represas, J. Mata, F. Rosas and R. Ramalho Late Cretaceous magmatism offshore the central West Iberian Margin	227
P. Terrinha, L. Batista, M. Carapuço, P. Nogueira, M. Neres, V. Magalhães, A. Z. Miller, M. Mil-Homens, M. Caetano e M. Miranda Montes submarinos Leão, Josephine e Unicórnio da Crista Madeira-Tore: morfologia, controlo tectónico e ocorrências minerais de crostas de Fe e Mn	229
S. B. Teixeira, C. A. Pinto e M. Rosa Paleolitorais na costa do Algarve Central (Portugal)	231
M. Yhasnara, P. J. M. Costa, F. Dourado e Equipe Científica RV-METEOR - M-152 Assinatura microtextural em grãos de quartzo e em foraminíferos de depósitos de tsunamis da plataforma sul portuguesa	233
Sessão Científica 7 (SC_7) – Geologia Estrutural e Tectónica	
B. Araújo, R. Pereira, J.C. Duarte and J. Mata Determining Late Cretaceous intra-plate magmatic emplacement models and plate motion of the West Iberian Margin	237
B. L. Araújo, C. Aires, M. A. Ribeiro, H. Sant’Ovaia e C. Cruz Encaixante metassedimentar do granito de Regoufe: estrutura e metamorfismo térmico	239
C. Cruz, F. Noronha and H. Sant’Ovaia Feeding zones and emplacement constraints of the Castelo Branco pluton: gravimetric modelling contribution	241
P. Fernandes, R. C. G. S. Jorge, L. Albardeiro, D. Chew, F. Drakou, Z. Pereira and J. Marques Detrital zircon geochronology of the Lower Karoo Group in the N’Condédzi Basin, Mozambique	243
N. Moreira, A. Araújo, J. Pedro e J. Roseiro Cartografia estrutural da região de Viana do Alentejo – Alvito; organização tectono-estratigráfica do SW da Zona de Ossa-Morena	245
N. Moreira, R. Dias, J. Roseiro, P. Nogueira, M. Maia e A. Araújo Aplicação da análise Fry a ocorrências de Cu (-Fe) da Faixa Metalogénica Sousel-Barrancos: primeira aproximação	247
R. Ressurreição, R. P. Dias, J. Cabral e G. Charifo Deformação tectónica no bordo ocidental da bacia de Rio Maior – a falha do Cidral	249

J. Roseiro, N. Moreira, P. Nogueira e D. de Oliveira Caracterização preliminar da deformação dos ortognaisses alcalinos e hiperalcalinos da Faixa Blastomilonítica (Zona de Ossa-Morena)	251
A. Ribeiro, R. Dias and C. Coke Intraorogenic Variscan structures; gravity induced extension or syntectonic stretching processes	253
A. Ribeiro, R. Dias, J. Duarte, E. Pereira, J. F. Rodrigues, J. Romão and F. Rosas From the Wilson and supercontinent cycles to the typology of the associated orogens	255
V. Tereso, R. Dias, J. Romão, J. Roseiro, C. Coke, R. Fonseca e A. Ribeiro Transição Ordovícico-Silúrico na Zona Centro-Ibérica: apenas um contacto estratigráfico ou um elemento estruturante do Varisco Ibérico?	257
Sessão Científica 8 (SC_8) – Vulcanismo e Sismicidade	259
S. Aguiar, J. Pacheco, A. Pimentel Tephra fallout hazard assessment for a Sub-Plinian eruption scenario at Fogo volcano (São Miguel, Azores)	261
C. S. Almeida Rocha e E. I. Alves Análogos Geoquímicos Portugueses de Rochas e Solos Marcianos (S. Saturnino – Fronteira vs Cratera de Gusev e Meridiani Planum)	263
R. Carmo, J.L. Gaspar, T. Ferreira, G. Queiroz, J. Medeiros e C. Goulart Vigilância vulcanológica, avaliação de riscos e difusão de informação no arquipélago dos Açores	265
J. V. Cruz, R. M. Brandão, C. Andrade e R. Coutinho Monitorização hidrogeoquímica de vulcões ativos na ilha de São Miguel (Açores, Portugal): previsão utilizando modelos de Box-Jenkins	267
N. A. Dias, J. Fontiela, I. Rio, S. Custódio, G. Silveira, G. Emídio, F. Carrilho, M. Moreira, C. Corela, A. Soares, O. Cavacundo, J. Carvalho e J.L. Duarte A crise sísmica da ilha de São Jorge (Açores) de 2022: resultados preliminares de uma densa rede sísmica	269
N. A. Dias, J. Fontiela, G. Silveira, L. Matias, I. Veludo e M. Moreira Estrutura crustal da Ilha Terceira (Açores): imageamento de uma ilha vulcânica por uma rede sísmica densa	271
S. Dumont, G. Salerno, J. Selva, A. Cannata, M. Liuzzo and R. Ramalho Deciphering the influence of ocean tides on the eruptive activity of Mount Etna (Sicily, Italy)	273
A. Hipólito, J. Madeira, R. Quartau e J. L. Gaspar A Falha das Lajes (Ilha Terceira, Açores): avaliação da perigosidade sísmica	275
M. Neres, G. Camargo, A. Soares, S. Custódio, M. Bos, B. Martins e P. Terrinha Novos mapas magnéticos e inversão 3D da intrusão alcalina de Monchique, e relação com a sismicidade observada	277
J. M. Pacheco, S. Aguiar, A. Pimentel, T. Ferreira, J. L. Gaspar, G. Queiroz, C. Goulart Avaliação da suscetibilidade da ilha Terceira (Açores) a perigos vulcânicos	279

R. S. Ramalho, J. Madeira, S. Innocentini, R. Quartau, V. Belvis e S. Hemming The volcano-stratigraphy of Corvo Island, Azores Archipelago	281
R. Silva, R. Marques, M. Aguiar, I. Araújo, S. Armas, J. Couto, J. Fonseca, A. Medeiros, A. Pimentel, C. Soares, V. Soares, R. Sousa, T. Ferreira, J. L. Gaspar e G. Queiroz A Detecção sísmica no contexto da monitorização multiparamétrica dos sistemas vulcânicos ativos dos Açores	283
A. Soares, S. Custódio, S. Cesca, R. Silva, A. Vuan e V. Mendes A crise sísmica de fevereiro de 2018 na ilha de São Miguel, Açores	285
F. Viveiros, C. Silva, L. Moreno, B. Medeiros, S. Oliveira, D. Matias, H. Cruz, A. Montalvo, e C. Primo Rede permanente de monitorização de gases vulcânicos do arquipélago dos Açores	287
N. Wallenstein, S. Matos, M. C. Jesus e A. Montalvo A utilização de infrassons na monitorização sismovulcânica. Estado da arte no arquipélago dos Açores	289
Sessão Científica 9 (SC_9) – Geofísica	291
C. S. Almeida Rocha, F. P. Figueiredo, L. Catarino, J. M. Azevedo e N. Rodrigues Prospecção Geofísica aplicada à caracterização hidrogeológica e geotécnica da massa de água mineral das Corgas do Buçaco – Penacova	293
C. S. Almeida Rocha, F. P. Figueiredo e A. C. Lopes A Prospecção Geofísica na Caracterização Geotécnica para a Implantação de Torres Eólicas em Maciços Carbonatados	295
N. Alte da Veiga A utilização do método de resistividade eléctrica num meio granítico fracturado – aproximações e ratoeiras	297
A. Carvalho, A. Peyrefitte, C. Gumiaux, E. Gloaguen, R. Ribeiro, A. Lima e R. Moura Estudo gravimétrico e análise estatística espacial das ocorrências de antimónio do Distrito Mineiro Dúrico-Beirão	299
O. Cavacundo, N. A. Dias, I. Rio, L. Matias Estrutura sísmica 3d e evolução da crosta sul de Portugal continental (resultados preliminares)	301
R. Correia, M. Prada, V. Sallarès, I. Merino, A. Calahorrano, A. Cameselle, L. M. Pinheiro, and C. Ranero Lithospheric Structure of the SW Iberian Margin from new Seismic and Gravity Constraints	303
R. Dinis, E. Font, J. Carmo, A. S. Reboleira, A. Hasözbeek, F. J. Barredo, E. Carvalho, J. E. Spangenberg e R. Trindade Registo Magnético e Climático de Espeleotemas de Portugal	305

M. R. Duque		
Fluxo de calor em Portugal-Resultados após 40 anos de trabalho		307
A. Gomes, J. Duarte e J. Ribeiro		
Aplicação do método de resistividade elétrica na caracterização do calcário em exploração numa pedreira de rocha ornamental		309
A. Machadinho, F. Figueiredo e A. Pereira		
Anomalias gravimétricas na região Centro de Portugal: detecção de estruturas geológicas e estimativa da profundidade do corpo-fonte		311
C. Marques, J. M. Azevedo e F. P. Figueiredo		
Caracterização Hidrogeológica e Geofísica da Região Envolvente da Captação-ETA da Ribeira de Alge (Figueiró dos Vinhos)		313
A. Pereira, L. Azevedo e A. Soares		
Self-updating local anisotropies in geostatistical seismic inversion to improve subsurface geological models		315
Sessão Científica 10 (SC_10) – Geoquímica		317
T. Bento dos Santos, M. Chichorro, D. Carvalho, P. Cachapuz, A. R. Solá, E. Dantas, J. Romão, N. Moreira, Í. Dias da Silva, E. Clavijo, A. Díez-Montes, P. Valverde, R. V. Santos and U. Linnemann		319
Dados geocronológicos para o soco pré-Mesozoico localizado a Oeste da Falha Porto-Tomar: implicações geodinâmicas		
M. G. Brito e E. Zungailia		
Avaliação da aplicabilidade do método de análise por fluorescência de raio X em estudos de caracterização de solos contaminados		321
P. Cachapuz, M. Chichorro, T. Bento dos Santos, D. R. Carvalho, M. Benoit, E. Dantas and A. R. Solá		
First evidence of Cadomian felsic magmatism in the Évora-Aracena Domain, Ossa-Morena Zone, SW Iberian Massif		323
P. Carvalho, T. Albuquerque, L. Chambel, M. Silva and F. Rocha		
Stream sediments geochemistry in the Valongo anticline, northern Portugal: arsenic as a proxy to outline new exploration targets		325
M. Chichorro, T. Bento dos Santos, R. Solá, C. Lopes and P. Cachapuz		
U-Pb detrital zircon ages during tectonic inversion: provenance analysis of siliciclastic sequences of the Ossa-Morena Zone		327
B. Cotrim, T. Bento dos Santos, M. Azevedo e D. Carvalho		
Dados geoquímicos e isotópicos Sr-Nd do complexo anatético da Faixa-Metamórfica Porto-Viseu: inferências petrológicas		329
B. Cotrim, T. Bento dos Santos, M. Azevedo e J.M. Lafon		
Datação LA-ICP-MS de U-Pb em zircão do Granodiorito de Arouca: problemáticas e implicações geodinâmicas		331
M. Costa and J. Mirão		
The role of Geochemistry in provenance studies – an example using modern personal adornment objects found in Angola		333

S. Costa e Silva, A. Guedes and F. Noronha Fluid evolution in tin and tungsten deposits associated with Laza-Rebordelo-Murçós shear zone – Preliminary Results	335
L. M. Feitoza, T. Bento dos Santos, J. Lains Amaral, A. R. Solá, C. C. G. Tassinari, M. A. S. Basei, J. X. Matos, L. Albardeiro and I. Morais O magmatismo mais antigo da Faixa Piritosa Ibérica: dados geocronológicos U-Pb da Jazida do Salgadinho, Cercal	337
M. Gama, N. Durães and C. Patinha Potentially toxic elements of soils and floodwaters in rice paddies of Baixo Vouga Lagunar (Aveiro, Portugal)	339
A. Guedes, H. Ribeiro, H. Sant’Ovaia, B. Senra, A. C. Santos, B. Valentim e C. Molina Rede Iberoamericana de Investigadores Forenses – RIIIF	341
V. Martins, J. Espinha Marques, J. Ribeiro e C. Mansilha Valores de fundo natural geoquímico de solos do Parque Natural da Serra da Estrela (Setor de Manteigas-Torre)	343
A. Mota, H. Sant’Ovaia and F. Noronha W-Sn metallogenic map: a case study in the “Alto-Douro” area	345
A. Oliveira, H. C. B. Martins and H. Sant’Ovaia The Compositional Heterogeneity of Late to Post-Variscan, Mafic Subvolcanic Dykes from Northern Portugal (Central Iberian Zone)	347
L. Portela, M.R. Azevedo, J. Medina and S. Ribeiro Mineralogy, geochemistry and petrogenesis of the late-post-tectonic Variscan Juncais granite (Central Iberian Zone): preliminary results	349
M. Porto Gouveia, M. Vinha e P. Carvalho Modificações geoquímicas num cambissolo cálcico devido ao impacto de uma antiga indústria de fundição (Coimbra, centro de Portugal)	351
V. Ramos, A. Mota, M. Rodrigues and F. Noronha The Tabuaço quarry granite. An example of a rare elements-rich granite	353
P. Santos, A. Rajnauth, J. Espinha Marques, J. Ribeiro, M. Costa e D. Flores Caraterização geoquímica dos resíduos de carvão afetados por combustão nas escombrelas da mina do Fojo – complexo mineiro do Pejão, Norte de Portugal	355
M. M. V. Silva e P. C. S. Carvalho Rare earth elements fractionation in leptosol and fluvisol in an arid region– anthropic impact	357
M. Sousa, H. Sant’Ovaia e F. Noronha Magmatismo sódico no Complexo Metamórfico da Foz do Douro” (Terreno Finisterra)	359
M. Sousa, H. Sant’Ovaia e F. Noronha Assinatura geoquímica e proveniência dos paragneisses silimaníticos do “Complexo Metamórfico da Foz do Douro” (Terreno Finisterra)	361
M. Sousa, H. Sant’Ovaia e F. Noronha Caracterização dos ortogneisses de uma série potássica no Complexo Metamórfico da Foz do Douro” (Terreno Finisterra)	363

T. Teixeira, P. Pato, A. Cachada and C. Patinha Effects of application of eucalyptus leaf biomass on soil quality: a field trial	365
V. Vicente, J. Pratas, F. C. M. Santos, M. M. V. G. Silva, P.J. C. Favas and L. E. N. Conde The Identification of Chromite Mineralization through the Application of Univariate and Multivariate Statistical Analysis of Stream Sediments Geochemistry in Maquelab, Oecusse (Timor-Leste)	367
E. von Zuben, C. Costa e P. Caetano A avaliação geoquímica na perícia ambiental	369
Sessão Científica 11 (SC_11) – Georrecursos Energéticos, Metálicos e Não Metálicos	371
A. Alonso-Jiménez, M. Regueiro y González-Barros, M. Alvarez Areces and D. Oliveira The Iberian industry of industrial minerals and rocks	373
A. Batista, N. Moreira e N. Mourinha Concessões Mineiras Históricas de Portugal (1836-1962); análise espaço-temporal	375
M. J. Batista, D. de Oliveira and R. Salgueiro Levelling geochemical datasets as a tool to overcome boundary features in data applied to mineral exploration	377
J. Carvalho, A. Filipe, P. Gonçalves, J. Lisboa, J. Matos, M. Batista, R. Salgueiro e D. Oliveira Áreas potenciais de Portugal para recursos minerais do domínio público	379
M. Carvalho, G. Resta, A. Carvalho, R. Frutuoso and A. Lima Evaluation of pXRF as an exploration tool in soil analysis to detect antimony mineralizations: Case of study in Ribeiro da Serra and Tapada- Northern Portugal	381
J. M. Dias, R. Vianez, H. Sant’Ovaia, A. Guedes, C. Cruz, J. Ferreira e F. Noronha Caracterização mineralógica do jazigo de ferro de Vila Cova (Marão)	383
B. Farinha Ferreira, M. Gaspar and P. C. R. Rodrigues Petrography and mineral chemistry of Aldeia (Canedo) Li-pegmatites	385
J. A. Ferreira, H. Sant’Ovaia, A. Guedes, F. Noronha and C. M. Pereira Development of Sustainable Materials for Water Splitting	387
M. A. Gonçalves Challenges in modern geochemical exploration: multi-element singularity maps and input into unsupervised machine learning algorithms	389
A. P Jesus, A. Mateus, M. A Gonçalves and S. Yang Sustainable exploration of orthomagmatic (critical) raw materials in the EU: project SEMACRET	391
V. Laranjeira, J. Ribeiro, N. Moreira, P. Nogueira e D. Flores Organic petrography applied to the study of thermal maturation of black shales and implications to Cu mineralization in Ossa Morena Zone	393
C. Leal Gomes Pegmatitos graníticos de Namirroé – Nuaparra, Zambézia, Moçambique – Estrutura e mineralogia	395

C. Leal Gomes , A. Souto, L. Fernandes e P. Araújo Estrutura, “petrofabric” e paragénese do índice tungsteno-aurífero de Ruivos - rede de cisalhamentos intra-graníticos de Ponte da Barca	397
L. Lima, A. Guedes, I. Bobos e F. Noronha Wolframite chemical composition as an indicator of different depositional mechanisms for the W-mineralization within the Santa Helena Breccia (Borralha)	399
J. V. Lisboa e J. Carvalho Evolução e tendências do mercado de caulino em Portugal	401
P. Madureira, R. Cerdeira, C. Lourenço, J. Francisco e L. Coelho Avaliação do Potencial de Exploração dos Recursos Hidrominerais e Geotérmicos e da sua Utilização para Temperaturas Superiores a 25°C	403
A. Mateus and L. Martins Mission-oriented research and innovation to support a new strategy for raw materials in Portugal	405
A. Mateus, C. C. G. Tassinari, I. Martins, M. L. Borba, Í. Dias da Silva and K. Sato Geological meaning of the REE distribution in zircons from granitoid, aplite and pegmatite bodies of the Panasqueira-Segura area	407
R. Pereira and D. Gamboa Permanent carbon storage potential in the Fontanelas Late Cretaceous volcano: a template for global application	409
F. Rocha and C. Costa Portuguese low grade kaolin based geopolymers	411
M. Rodrigues, A. Guedes, A. C. Santos, I. Bobos e F. Noronha Evolução de fluidos registada num cristal de quartzo do pegmatito da Venturinha (Penalva do Castelo): um pequeno complemento ao trabalho de Correia Neves	413
R. Salgueiro, N. Grácio, M. Gaspar and D. de Oliveira Alluvial Sn and W minerals mapping for mineral resources exploration and research in Segura mining region (Portugal)	415
A. C. Santos, I. Kuźniarska-Biernacka, C. Cruz, A. Guedes, H. Sant’Ovaia, E. Font, A. F. Peixoto, B. J. C. Vieira, J. C. Waerenborgh and B. Valentim Characterization of magnetic concentrates (MC) from coal combustion ashes and its application in 4-nitrophenol catalytic reduction reaction	417
A. Silva, S. Moreira, A. Amado and R. Santos Portuguese ball clays as a competitive alternative due to the context of European scarcity	419
T. Soares, L. Catarino, F.P. Figueiredo e F. Pita Estudo preliminar de areias da costa da Guiné (Conacri)	421
B. Teixeira, M. Brito and A. Mateus Iridium needs for the development of an European hydrogen economy and possible bottlenecks on its global supply chain	423

B. Valentim, C. Badenhorst, L. Ánnhagen, A. Guedes, X. Hu, E. Mousa, K. Moreira, A. C. Santos and G. Ye	425
Applied petrography in spent lithium-ion batteries (LIBs) recycling: evaluation of binder removal after pyrolysis	
B. Valentim, C. Badenhorst, A. Guedes, I. Kuzniarska-Biernacka, E. Mousa, A. C. Santos and G. Ye	427
Applied petrography in spent lithium-ion batteries (LiBs) recycling: can we separate everything?	
R. Vianez, J. M. Dias, H. Sant’Ovaia, A. Guedes, C. Cruz, J. Ferreira e F. Noronha	429
Caracterização Mineralógica do minério do Jazigo de Ferro de Cabeço de Mua (Moncorvo)	
A. Yakovenko, A. Guedes, F. Noronha e A. Mateus	431
Evolução composicional dos fluidos associados às mineralizações de Li-Sn da mina Pedra Alta (Argemela)	
Sessão Científica 12 (SC_12) – Hidrogeologia e Recursos Hídricos	
B. Abdelkarim, I. M. Antunes, N. Abaab, A. B.Tounekti and B. Agoubi	435
Assessment of groundwater vulnerability of fractured aquifers from arid regions	
I. M. Antunes e M. Mendes	437
Proposta de delimitação dos perímetros de proteção na área termal de Caldelas (Amares, Norte de Portugal)	
N. Barreiras, P. Dias, F. C. Lopes, F. Figueiredo, J. Nascimento and M. T. Condesso de Melo	439
Integrated analysis of geological, structural and gravimetric data to improve the conceptual model of the Vieira de Leiria – Marinha Grande aquifer system for groundwater modelling	
R. Carvalho, M. R. Carvalho e C. Almeida	441
Água Mineral Natural de Caldas da Rainha: uma abordagem multidisciplinar	
A. Chambel, C. Rodrigues, C. Alexandre, R. Guimarães e I. Miguel	443
Condições hidrogeológicas e sociais do Município do Curoca, província do Cunene, Angola: contribuição para o alívio das condições de seca	
L. Ferreira, J. Virgílio Cruz, F. Viveiros, N. Durães, R. Coutinho, C. Andrade and J. F. Santos	445
Hydrochemical and isotopic composition (87Sr/86Sr) of rainwater from São Miguel (Azores, Portugal)	
A. Francés, E. Ramalho, F. Monteiro Santos, J. Llorente, T. Mateus, I. Cuervo, J. Lobón, V. Dala, M. Ditutala e A. Victorino	447
Contribuição do método geofísico eletromagnético no domínio de tempo para o estudo dos sistemas aquíferos multicamada transfronteiriços da bacia do Kalahari, Cunene, Angola	
J. Henriques, J. M. Azevedo, N. Rodrigues e A. M. Castilho	449
Caraterização hidrogeológica do Domínio Central (Tornada) do sistema aquífero Caldas da Rainha-Nazaré	
M. La Pasta Cordeiro, J. Duarte, J. L. Carvalho, M. T. Condesso de Melo and J. P. Nunes	451
Wildfires effects on the groundwater recharge: a case study in the Pinhal de Leiria (Portugal)	

G. S. Luís, A. J. S. C. Pereira, S. L. R. Sêco e L. F. Neves Análise de perfis verticais de ²²²Rn e outros parâmetros físicos na albufeira da barragem da Aguieira (Rio Mondego)	453
L. J. Maloa, H. F. Macive e C. L. Gomes Contributo para a dedução da capacidade de armazenamento de água no solo e subsolo em pico de cheia ao longo do rio Limpopo-Moçambique	455
A. Miranda, J. Ribeiro e J. M. Azevedo Vulnerabilidade e risco do sistema aquífero das aluviões do Mondego no setor Coimbra-Montemor-o-Velho	457
T. M. do Nascimento, M. T. Condesso de Melo e R. Proença de Oliveira Impacts of large-scale irrigation systems on the groundwater salinity: a case study of Gabros de Beja aquifer system, Portugal	459
E. C. Ramalho, A. Francés, R. Martín Banda, T. Mateus, J. M. Llorente, A. Famorosa, I. Cuervo, J. L. Lobón e A. M. Victorino Contribuição de sondagens mecânicas e diagrfias para o estudo dos sistemas aquíferos multicamada transfronteiriços da bacia do Kalahari, Cunene, Angola	461
M. D. Sequeira, P. Dinis, A. Castilho and A. O. Tavares The influence of rural fires in surface water quality	463
M. D. Sequeira, A. O. Tavares e A. Castilho A Influência da seca severa em indicadores de águas superficiais	465
J. Virgílio Cruz, C. Andrade e R. Coutinho Salinização da água subterrânea nas ilhas Graciosa e do Pico (Açores, Portugal): cartografia de vulnerabilidade	467
J. Virgílio Cruz, C. Andrade e R. Coutinho Escoamento de base em cursos de água nos Açores (Portugal): implicações para o cálculo das disponibilidades hídricas subterrâneas	469
M. Ximenes, J. M. Azevedo, J. A. Pratas and F. P. Figueiredo Hydrogeological Characterization of Deltaic Deposits of Comoro River (Dili, Timor-Leste)	471
J. Zeferino, M. R. Carvalho e M. Simões Desenvolvimento de um modelo numérico em sistemas hidrogeológicos complexos: caso de estudo Montijo-Alcochete	473
<i>Sessão Científica 13 (SC_13) – Geologia Ambiental</i>	
B. Abdelkarim, I. M. Antunes and B. Agoubi Spatial variation of groundwater vulnerability to nitrate pollution in semi-arid area	477
L. Almeida, F. Rocha e C. Candeias Characterization of saline waters from Ria de Aveiro for potential use in SPA treatments	479

A. R. A. Alves, E. Silva e L. Novo	
Otimização da fitominação de níquel com a espécie <i>Odontarrhena serpyllifolia</i> através de corretivos orgânicos	481
I. M. H. R. Antunes and H. Correa	
Water resources management in mining area – a case study on Xikrin-Cateté Indigenous Land (Amazonia, Brazil)	483
J. Araújo, R. Fonseca, T. Albuquerque, N. Silva e R. Silva	
Influência dos rejeitos de uma mina de sulfuretos na qualidade da água de drenagem, 60 anos após o seu abandono: Caso de estudo no SW de Portugal	485
A. Barroso, T. Valente, I. M. Antunes and A. P. Reis	
Copiapite group: occurrence and properties in mining contamination scenarios	487
M. G. Brito, P. Caetano, A. Sanches e C. Pinto	
Metodologia para a avaliação do risco de contaminação de solos por actividade industrial em meio urbano	489
R. Camarinho, P. V. Garcia and A. Rodrigues	
Chronic exposure to hydrothermal emissions as cause of respiratory impairment in wild mice	491
C. Candeias, F. Rocha, S. Dumont, A. Mainault, R. Ramalho, J. Madeira and J. Antunes	
Investigating the hydrothermal activity at Fogo volcano (Cape Verde) using geochemical analysis of soil samples	493
E. E. Çelebi, J. Ribeiro, E. Font and T. Adatte	
Mercury mobilization from natural and experimental combustion of coal mining waste	495
M. Costa, A. Rajnauth, P. Santos, J. Ribeiro e D. Flores	
Estudo de resíduos mineiros de carvão afetados termicamente: Especificidades petrográficas e mineralógicas	497
J. Erbolato Filho, J. Ribeiro e A. Pereira	
Radioatividade natural de solos na envolvente da central termoelétrica de Sines: impactes da combustão de carvão	499
A. Fernandez, L. Novelle, B. C. Rodrigues, J. Pamplona, N. Ramos e A. Guerner Dias	
Geotermia Superficial em Portugal: Contributos da Experiência Espanhola, Lições Aprendidas	501
R. Fonseca e J. Araújo	
Legado geoquímico de eventos hidrometeorológicos extremos na sedimentação de pequenos lagos na República Dominicana	503
H. Fonseca e A. Pereira	
Variações Sazonais das Concentrações de Radão no Ar Interior em Portugal Continental – Dados Preliminares	505
P. Gomes, T. Valente and M. Lemos	
Potential accumulation of strategic elements in mining dams - from remining to rehabilitation	507

P. Guerra, J. Ribeiro, A.P. Cardoso, F. Domingos, G. Luís, A. Pereira Variabilidade anual do gás radão no ar interior de espaços públicos	509
L. J. Maloa, A. Gomes e B. Barros Dispositivos naturais de retenção e escoamento com influência no regime de cheias do Baixo Zambeze – Moçambique	511
F. H. Michels, J. Ribeiro e M. H. Henriques Variação composicional dos solos do Cabo Mondego: uma ferramenta para estudos ambientais	513
J. Pedro, J. Carneiro, P. Moita, E. Berrezueta, A. Araújo, F. Marques, C. Pinho e H. Caeiro Avaliação do potencial dos maciços gabróicos do Alentejo para a carbonatação mineral de CO₂	515
S. Pereira, M. Carvalho, H. Ribeiro and A. Guedes Seasonal comparison of Road Dust physicochemical characteristics in an urban area	517
F. Pita Separação gravítica de mistura de plásticos	519
F. Pita Separação de resíduos de cobre e plástico por processos gravíticos e flutuação por espumas	521
A. Rajnauth, B. S. Diogo, J. Espinha Marques, D. Flores e S. C. Antunes Efeitos ecotoxicológicos de lixiviados das escombreiras da mina do Fojo (Pejão, Norte de Portugal) em espécies-modelo aquáticas	523
A. R. Reis, B. M. F. Silva e R. J. S. Teixeira Caracterização composicional de sedimentos urbanos de Vila Real: implicações ambientais	525
J. Ribeiro, J. A Erbolato Filho, M. Ribeiro, R. Cardoso and J. Rodrigues Assessment of soils quality around the deactivated Sines coal-fired power plant	527
P. Santos, A. Rajnauth, J. Espinha Marques, J. Ribeiro e D. Flores Caraterização ambiental dos solos da envolvente da escombreira da mina do Fojo – complexo mineiro do Pejão	529
S. L. R. Sêco, G. S. Luís, F. P. Domingos, A. J. S. C. Pereira, L. V. Duarte e F. Rocha Associações entre radioisótopos e mineralogia em unidades carbonatadas (Jurássico Inferior e Médio, Bacia Lusitânica)	531
N. Silva, R. Fonseca, T. Valente e C. Pinho Adsorção do arsénio dissolvido em águas de drenagens ácidas mineiras por um óxido-hidróxido de ferro (ferrihidrita)	533
R. da Silva, R. Fonseca, J. Araújo, N. Silva e T. Albuquerque Observação do nível de contaminação nos sedimentos de cursos de água do Sistema Mineiro de Caveira (Grândola)	535
M. J. Trindade e M. Malta Avaliação da segurança radiológica nas atividades de extração de depósitos minerais (minas) e massas minerais (pedreiras)	537

M. J. Trindade, M. Malta, H. Fonseca, A. Santos Silva, D. Costa, F. Baptista, A. Pereira e M. L. Dinis	
Materiais de construção produzidos e usados em Portugal que podem suscitar preocupação do ponto de vista da proteção radiológica	539
E. Vicq, J. M. Ronque, M. A. G. Fajaco, M. G. P. Leite, B. C. S. C. Moreira, H. S. Sobral, E. D. Marques	
Avaliação ambiental da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha	541
R. Vicq, T. Valente, L. Leão, M. Leite e H. A. Nallini Júnior	
O Chumbo na Província Mineira do Quadrilátero Ferrífero, Brasil: mapeamento Geoquímico e Valores de Referência	543
R. Vicq, T. Valente, L. Leão, M. Leite e H. A. Nallini Júnior	
Índices Multi-elementares como abordagem para avaliação da Qualidade dos Sedimentos Fluviais do Quadrilátero Ferrífero, Brasil	545
E. Zuben, P. Caetano e C. Costa	
Remediação: a importância das propriedades geológicas e hidrogeológicas na seleção da tecnologia	547
E. Zuben, P. Caetano, C. Costa e D. Vendas	
Amostragem passiva de vapores orgânicos presentes no solo: uma abordagem económica de investigação	549
Sessão Científica 14 (SC_14) – Geologia de Engenharia	
A. Alonso-Jimenez, E. Alvarez Areces, M. Regueiro y González-Barros, M. Arlandi-Rodriguez and Daniel Leon Gonzalez	553
The Iberian slate industry, the use of geology for the optimization of present and future mines and quarries	
J. Caetano, J. Henriques, M. Oliveira, M. Quinta Ferreira, P. Alves, R. Faim, J. Ribeiro e J. Duarte	555
Análise da estabilidade de um talude da pedreira Moleanos Nº 3	
L. Catarino, M. I. Cunha e J. A. R. Mendes da Silva	
O uso dos materiais pétreos na Fortaleza de S. João Baptista (Monte Brasil), Angra do Heroísmo, Açores	557
W. Dantas, J. M. Lourenço e L. Sousa	
Uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (RPAS/Drones) para identificação do padrão de fraturação em pedreiras	559
I. Fernandes, M. A. Ribeiro e N. Plasencia	
Caracterização geológica do maciço rochoso de fundação da barragem de Foz Tua	561
I. Fernandes, M. A. Ribeiro and M. Quinta Ferreira	
The role of petrographic studies on the durability of buildings	563
J. Henriques, M. Oliveira, M. Quinta Ferreira, P. Alves e R. Faim	
Investigação Geotécnica da Quinta Ciência Viva do Sal, Armazém de Sal, Pedarium, Banho de Lamas e acessos	565
M. Oliveira, J. Henriques, P. Alves e R. Faim	
Caracterização geotécnica para a construção da Unidade de Saúde em Amor, Leiria	567

F. Paulino, E. Fernandes e A. Dinis Estabilização de taludes de escavação entre o km 0+000 e o km 2+000 da EN337 no Concelho de Vouzela	569
C. Pinto, I. Moitinho de Almeida e R. Taborda Cartografia geotécnica em áreas urbanas – O caso de Lisboa	571
M. Quinta Ferreira Estudo geológico-geotécnico para a requalificação do miradouro do Zebro, em Oleiros	573
M. Quinta Ferreira, P. M. Tiago e J. P. Henriques Condicionantes geológicas e geotécnicas do projeto do elevador das Escadas Monumentais, Coimbra	575
M. Silva, M. Quinta Ferreira e P. S. Andrade Considerações acerca da sustentabilidade na estabilização e reabilitação de taludes	577
P. F. Silva, A. G. Oliveira, S. Soares, R. Dias e J. Almeida Modelação geológica 3D para apoio ao desenvolvimento urbano – o exemplo da área da Lisnave, Almada	579
O. V. Tilman de Jesus, F. J. Jones, J. I. Mendes, Y. A. de Sousa, A. Fernandes and H. U. Alkatiri Geotechnical investigation on earthquake-induced landslide affecting the Dominican residential located at Salau, Manatuto Municipality, Timor-Leste	581
A. Trota Desafios da prospeção geológica em terrenos vulcânicos nos Açores	583
J. A. Valido, L. E. Hernández-Gutiérrez, J. M. Cáceres and L. Sousa Evaluation of the volcanic formations of Canary Islands as building stone	585
A. Veiga, S. Areia e J. Veludo Informação geotécnica de Leiria em SIG – Contributo para o desenvolvimento sustentável	587
Sessão Científica 15 (SC_15) – Modelação e Geomatématica	589
Ó. Costa, P. Marinho Reis, P. Nogueira, A. Kumoleha e P. Pimenta Simões Caracterização mineralógica e geoquímica de solos superficiais e escombros coletados na zona mineira Preguiça-Vila Ruiva	591
B. Fonseca, J. Góis, A. Guerner Dias e H. Garcia Pereira Contributos da Análise Correspondências como metodologia para a seleção de casos de estudo na avaliação da degradação ambiental de áreas mineiras abandonadas	593
I. Napoleão, G. Brito e E. Zungaila Modelação geológica 3D no âmbito de projetos de engenharia geoambiental em meio urbano	595
M. Pereira, J. Duarte e L. Catarino Utilização de imagens de alta resolução para classificação de rocha ornamental carbonatada	597

A. Sanches, J. Almeida e A. Martínez-Graña Aplicação de redes neuronais na calibração de LIBS em sulfuretos: um caso de estudo nas minas de Aljustrel	599
Sessão Científica 16 (SC_16) – Ciências do Espaço e de Observação da Terra	
R. Cardoso, D. A. Vaz e P. Costa Avaliação de potencial paleolinha de costa em Tempe Terra (Marte)	603
L. Quental, P. Patinha, P. Gonçalves e A. Pereira Visualizadores 3D e de Observação da Terra como fonte de promoção e expansão do conhecimento geológico	605
B. Rodrigues, P. Pina e P. Costa Deteção de anomalias mineralógicas nas planícies vulcânicas da Lua	607
D. Santos, J. Cardoso-Fernandes, A. Lima and A. C. Teodoro Exploring methods to improve mineral identification using PRISMA hyperspectral images	609
R. Santos e R. Quartau Machine Learning aplicado à determinação da profundidade em regiões costeiras através de imagens de satélite (PlanetScope)	611
D. C. A. Silva e D. A. Vaz Sistema fluvio-deltaico da cratera Jezero: modelação sedimentar do balanço de massas, knickpoints e paleo-linha de costa	613
M. Silva, P. Nogueira, M. Gonçalves and R. Henriques Use of multispectral images in the identification of geological features in the Estremoz-Barrancos sector	615
D. A. Vaz, S. Silvestro, M. Chojnacki e D. C. A. Silva Grandes ripples eólicos em Marte: mecanismos de formação e significado paleoambiental	617
Sessão Científica 17 (SC_17) – Património Geológico e Geoconservação	
R. Aires, S. Machado, P. Pereira, J. X. Matos e J. Brilha A unificação dos inventários de geossítios como estratégia para a geoconservação em Portugal	621
E. Álvarez Areces, J. C. Kullberg, A. Alonso-Jiménez e A. Prego Brecha da Arrábida, conglomerados de Ota, Espejón e Montserrat: génese, exploração e usos no património cultural da Península Ibérica	623
J. Brilha, R. Henriques, T. Mota, D. I. Pereira e P. Pereira Contribuição dos municípios para a promoção da geodiversidade: o exemplo da iniciativa Geovaldevez	625
C. N. Carvalho, J. Rodrigues Património Geológico de Castelo Branco: inventário e valorização no contexto do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO	627

S. C. Custódio, M. H. Henriques, E. Rosado-González, N. M. Vaz e A. A. Sá Recursos geopatrimoniais de referência do Projeto Geoparque Atlântico (Centro de Portugal)	629
M. Faraone, J. Brilha e C. Goso Inventário nacional do património geológico do Uruguai: rumo à definição de contextos geológicos	631
L. F. Garcia, P. João, S. C. Custódio, G. G. Garcia e M. H. Henriques Valorização do património através do Geocaching: o caso de Ançã	633
M. H. Henriques and L.F. Garcia Women representation in UNESCO Global Geoparks of Portugal	635
S. B. A. Henriques, P. H. Alves e S. Machado Património geológico cadomiano da região de Abrantes	637
J. C. Kullberg, M.T. Caetano, L. Castro e A. Santos Espaço Geológico e Geomorfológico Virtual associado à Paisagem Cultural de Sintra (UNESCO)	639
J. C. Kullberg, A. Prego, L. Lopes, T. Alves e R. Martins Classificação da Brecha da Arrábida como Heritage Stone pela International Union of Geological Sciences (IUGS)	641
J. X. Matos, R. Dias, Z. Pereira, R. Ressurreição, S. Soares, M. Mendes, L. Albardeiro, P. Gonçalves, S. Santos e J. Piçarra Geodiversidade no troço médio do rio Guadiana, argumentos para um futuro Geoparque no território de Mértola, Serpa, Moura e Barrancos	643
J. X. Matos, I. Morais, S. Santos, L. Albardeiro, P. Gonçalves, M. J. Batista, D. Oliveira e R. Dias Litoteca do LNEG Aljustrel, um espólio científico fundamental para a investigação da Faixa Piritosa Ibérica e da Zona de Ossa-Morena	645
I. Morais, S. Santos, J. X. Matos, L. Albardeiro, D. de Oliveira, M. Aguiar, M. Guerreiro Inventariação do património geológico e mineiro de Aljustrel – Proposta para o aproveitamento geoturístico da região	647
K. Neto e H. Henriques Os geo-itinerários como meio de divulgação do património geológico de São Tomé e Príncipe	649
D. I. Pereira, N. Moreira, P. Moura, A. Martins e A. Araújo Locais de interesse geomorfológico dos domínios setentrionais da Zona de Ossa Morena em Portugal: caracterizar para valorizar	651
P. Pereira, L. Selmi, T. S. Canesin, R. Gauci, J. Vegas e P. Coratza Proposta de metodologia para avaliação do risco de degradação de património geológico	653
P. Pereira, J. Brilha, S. Machado, J. X. Matos, S. Meneses, J.C. Nunes, A. Porteiro e A. Sá Geossítios portugueses na lista dos Primeiros 100 Sítios de Património Geológico da IUGS	655

A. Pierozynska, C. Veiga-Pires, H. Campos and G. Maurício Characterisation of the paleoenvironments from the aspiring Geopark Algarvensis Loulé-Silves-Albufeira: An educative and outreach strategy for communicating geology	657
D. Rocha, A. Paz, A. A. Sá e P. Pereira Valorização do património geológico nos Passadiços do Paiva (Arouca Geoparque Mundial da UNESCO)	659
J. Rodrigues, C. Neto de Carvalho, S. Meneses, E. Lima, J. Alves, D. I. Pereira, A. Morais, E. Castro, F. Loureiro, D. Rocha, A. Paz e A. A. Sá Contributo dos Geoparques Mundiais da UNESCO portuguesas para a proteção e valorização do Património Geológico nacional	661
A. A. Sá, D. Fernandes, E. Gonçalves, A. Padrão, R. Lamas, T. Silveira e L. Mergulhão Projeto de geoconservação das lajes do Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios de Ourém/Torres Novas e da Jazida de Pegadas de Dinossáurios de Vale de Meios – desafios e consecução	663
A. A. Sá, T. Guimarães e G. Mariano Mais que turismo de sol e praia: o geoturismo no Litoral Sul de Pernambuco (Brasil)	665
I. Tshibango-André, P. S. Andrade, P. M. Callapez e J. M. Brandão Museu Regional do Dundo e a sua envolvente geológica na Província da Lunda Norte	667
C. Veiga-Pires, S. Oliveira, L. Pereira, H. Campos, G. Maurício, T. Carçoço and D. Paulo The aspiring UNESCO Global Geopark Algarvensis	669
Sessão Científica 18 (SC_18) – História e Didáctica da Geologia	
A. Batista, P. Silva, S. Cadima e J. Cabral Educação, Ciência e Património Natural de Torres Novas	673
C. Barata, B. Lopes, A. Gomes, F. C. Lopes, E. Gomes, D. Soares, P. Callapez e I. Abrantes Janela para os Museus de Ciência Portugueses	675
C. Barata, C. Marques, B. Lopes, A. Gomes, F. C. Lopes, E. Gomes, D. Soares, P. Callapez e I. Abrantes Viagem à volta do mundo com a Geologia – análise de 611 questões de exames nacionais (2008-2021)	677
N. Cid e J. C. Kullberg Educação formal e não formal em Geociências: perspetivas de uma abordagem holística no desenvolvimento de uma cidadania ambiental	679
G. P. Correia e F. B. Figueiredo Os Observatórios de Astronomia e Geofísica da Universidade de Coimbra: Uma história ilustrada por alunos dos ensinos básico e secundário	681
G. P. Correia e H. Pereira EGU Geosciences Education Field Officer: um programa internacional para a promoção do ensino das geociências	683

R. Dias, I. Leal Machado, A. Soares, I. Sá, B. Dias, M. Silva e V. Tereso Uma aproximação pluridisciplinar e integrada à Cartografia Geológica	685
L. V. Duarte O Evento Jenkyns (Toarciano inferior) em Portugal. Relevância científica e potencial educativo	687
J. Ferreira e J. C. Kullberg A página das Olimpíadas Portuguesas da Geologia na Internet: divulgação de Ciência e formação informal	689
P. João, M. H. Henriques e A. V. Rodrigues Ensinar geociências numa perspetiva de Desenvolvimento Sustentável ao longo do Ensino Básico	691
N. Lima e D. I. Pereira Bem-estar e morte: temas chave para a promoção da Geodiversidade	693
F. C. Lopes, A. I. Gomes e P. Ribeiro Registo Instrumental dos efeitos físicos do Evento de Tunguska no Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra	695
C. Marques, C. Barata, D. Soares, A. Gomes, F. C. Lopes, I. Abrantes, B. Lopes, E. M. C. Gomes e P. Callapez Exames sob pressão: análise das questões sobre metamorfismo e rochas metamórficas nos Exames Finais Nacionais de Biologia e Geologia	697
C. Marques, C. Barata, D. Soares, A. Gomes, F. C. Lopes, I. Abrantes, B. Lopes, E. M. C. Gomes e P. Callapez (RE)cristalização ou (NEO)cristalização. Conceitos em manuais escolares de Biologia e Geologia 11.º ano	699
A. Nóbrega, M. Sousa, L. Lopes, P. Matos, G. P. Correia, M. Oliveira e J. Santos Censos Geológicos: uma imagem mais nítida da comunidade geológica portuguesa	701
S. Oliveira, C. Veiga-Pires, D. Moura e L. Pereira Uma janela educativa para o Oceano Jurássico - O Planalto do Escarpão	703
S. Ozkaya de Juanas, F. Barroso-Barcenilla, M. Berrocal-Casero, P. M. Callapez, R. Pimentel, V. F. dos Santos and M. Segura Exploring Out-of-school education through Iberian cooperation at Lower Cretaceous sites of Portugal and Spain	705
I. Pereira, S. Pereira, C. Marques da Silva, A. Cravinho, J. Ferreira, M. Sousa, A. Nóbrega e L. Lopes APG 365: pelo registo e união da comunidade geológica portuguesa	707
S. Pinheiro, P. Santos, J. T. Lopes, H. Sant'Ovaia, J. Torres e D. Flores Pensar o legado mineiro a partir da Sociologia – Os exemplos das Minas do Pejão e Regoufe	709
A. M. Pinto, J. M. Relvas, J. Ferreira e J. C. Kullberg De Portugal para o mundo, das Olimpíadas Portuguesas da Geologia (OPG) para a International Earth Science Olympiad (IESO)	711

C. Pinto, M. Inácio, J. Vicente, P. Leonardo, A. Frias e M. Cachão Geomonumentos: geologia para as escolas de Lisboa	713
E. C. Ramalho, L. Quental, C. Pinto e R. C. Gomes Introdução de Ciência Cidadã na disciplina de Cidadania e Desenvolvimento – a App AGEO e os riscos naturais	715
J. M. Relvas, A. M. Pinto, J. Ferreira e J. C. Kullberg As Olimpíadas Portuguesas da Geologia (OPG): modelo de funcionamento e evolução	717
A. Ribeiro, C. Nunes, P. Alegria e J. Torres Análise do questionamento em manuais escolares do 7.º ano de escolaridade de Ciências Naturais: Das Metas Curriculares às Aprendizagens Essenciais	719
J. Rodrigues, C. Castro, E. Costa e Silva e D. I. Pereira Os Geocientistas e a Comunicação de Geociências em Portugal	721
J. Rodrigues, E. Costa e Silva e D. I. Pereira Os Desafios da Comunicação de Geociências	723
M. Sousa e F. Noronha Geologia Urbana: outra forma de olhar para as cidades. O exemplo da Avenida dos Aliados (Porto)	725
I. Tshibango-André, P. M. Callapez, P. S. Andrade e J. M. Brandão “Diamonds are forever”: O Museu Regional do Dundo e o papel da Geologia da Lunda no renascer de uma instituição histórica de Angola	727
J. Virgílio Cruz e A. T. Alves As primeiras descrições dos fenómenos hidrominerais nos Açores: Gaspar Frutuoso (1522-1591) e a obra <i>Saudades da Terra</i>	726
Sessão Científica 19 (SC_19) – Cartografia Geológica	
N. Alte da Veiga Cartografia de uma zona de falha em terrenos graníticos com recurso a métodos geofísicos	733
A. Araújo, N. Moreira e T. Batista Cartografia Geológica aplicada: Estudo de Impacte Ambiental da Quinta do Carmo (Estremoz)	735
P. Ferreira e J. Romão Contribuição para a melhoria da cartografia geológica da Bacia Carbonífera do Buçaco	737
C. A. Freitas, T. Bento dos Santos e I. Pereira Reinterpretação e homogeneização da cartografia geológica da região de Montalegre-Tourém	739
J. X. Matos, A. Díez-Montes, R. Dias, Z. Pereira, S. Machado, R. Solá, J. J. Huerta Carmona, R. Ressurreição, L. Albardeiro, M. Mendes, I. Morais, E. González-Clavijo, P. Gonçalves, S. Santos, D. Oliveira, R. Salgueiro, S. Henriques, J. T. Oliveira, P. Fernandes, C. Inverno e M. T. Lopez Programa de cartografia transfronteiriça do LNEG-IGME na Zona Sul Portuguesa nas escalas 1/200 000 e 1/400 000. Um contributo para a estratigrafia do SW Ibérico	741

I. Morais, L. Albardeiro, P. Gonçalves, S. Soares, R. Solá, R. Dias, R. Ressurreição, M. Castro-Pina, B. Serra, Z. Pereira e M. Mendes	743
Contributo do acompanhamento das grandes obras de engenharia para a cartografia geológica – Caso de estudo do Corredor Internacional Sul	
A. Pereira, P. Patinha, A. Francés, R. Dias, J. Feliciano e L. Quental	745
Desenvolvimento e implementação do modelo de dados da Carta Geológica Digital de Portugal	
S. Pereira, I. Dias da Silva, J. Colmenar, M. Pires, T. Young e C. Neto de Carvalho	747
Sinclinal de Penha Garcia: cartografia, litoestratigrafia e biostratigrafia	
J. Romão e P. Ferreira	
O sinclínio complexo de Destriz-Caramulo (Tondela): litoestratigrafia e estrutura	749
J. B. dos Santos, J. Pratas, V. Vicente, A. da Cruz, J. Nano and M. Soares	751
An update of the Atauro Island Geological Map, Timor-Leste	
A. J. D. Sequeira e J. Medina	753
Cartografia do sinclinal de Buçaco-Penedos de Góis	
S. Soares, R. Dias, R. Ressurreição, I. Morais, L. Albardeiro, P. Gonçalves, R. Solá e M. Castro-Pina	755
Calcretos da região de Elvas – Estudo preliminar	
V. Vicente, J. Pratas, F. C. Lopes and R. Harris	757
The Lithostratigraphy and Structural Setting of the Banda Terrane and Gondwana Sequence on the Northeast of Oecusse Enclave, Timor-Leste	
Sessão Científica 20 (SC_20) – Mudanças Globais e Paleoclimatologia	
A. R. Brás, E. Font, A. S. Reboleira, R. Melo, J. E. Spangenberg and P. Fonseca	
Stable isotopes and Rock Magnetism of stalagmites from the Gruta da Cerâmica, Portugal	761
E. Font, E. M. Sánchez-Moreno, A. S. Reboleira, A. R. Brás, R. Trindade, E. Lima, J. E. Spangenberg, A. Hasözbeq, J. Parés, F. J. Barredo, R. Melo, J. Carmo, L. Dimuccio, P. Fonseca, L. Edwards, J. Feinberg, Y. Yokohama and C.V. Pires	763
Speleothem magnetism: recording the Earth’s magnetic field and climate	
V. Lattao, H. Collado, S. Garcês, H. Gomes, M. H. Henriques, E. Marrocchino, P. Rosina and C. Vaccaro	765
Cave sediments stable isotopic analysis to attempt an environmental reconstruction: the case of Cadaval and Escoural (Portugal) and Postes (Spain) caves	
V. Lopes, M. C. Freitas e X. L. Otero	767
Quantificação do carbono azul na biomassa do estuário do Minho (Portugal)	
L. Matos, E. Salgueiro, A. Rebotim, C. Lopes and F. Abrantes	
Reconstructing exported marine primary production along the water column: the IRMAPEX project	769
A. Mega, E. Salgueiro, A. Rebotim, A. Voelker, J. Cruz, E. Calvo and F. Abrantes	
Planktonic foraminifera reveal sea surface temperature variations at the Portuguese margin during the last 25kyr	771

R. Melo, E. Font and J. Ribeiro	
Magnetic and Mercury fingerprint of burnt soils from Portugal	773
I. Mendes, J. Lübbers, A. Cravo, J. Schönfeld, C. Correia, P. Grasse, A. R. Carrasco and A. Gomes	
Can alkalinity enhancement in intertidal environments contribute to reduce atmospheric carbon dioxide?	775
F. Naughton, T. Rodrigues, D. Oliveira, S. Gomes, C. Morales Molino, D. Hoddel, S. Toucanne, M. Alonso-Garcia, F. Abrantes and M. F. Sanchez Goñi	
Major hydroclimate changes during key glacial periods and their terminations in southwestern Europe	777
H. Nganhane, A. Tavares, P. Santos e G. Dge-Dge	
Perdas e danos associados a cheias e inundações, no período de 1926 a 2021, em Moçambique, a partir de uma base de dados de incidência local	779
H. Nganhane, A. Tavares, P. Santos, A. Fernández-Sánchez	
Eventos meteorológicos extremos de ciclones tropicais e seus grandes impactos em Moçambique, no período de 1926 a 2021	781
Z. Pereira, P. Fernandes, M. Mendes, G. Lopes, J. Marques, R.C.G.S. Jorge and L. Albardeiro	
The Permo-Triassic boundary in the N'Condédzi sub-basin, Moatize-Minjova Coal Basin, Mozambique: palynology, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ variation and paleoenvironments	783
M. Salvado, E. Salgueiro e F. Abrantes	
Pequena Idade do Gelo: evidências oceanográficas registadas em sedimentos marinhos da margem Portuguesa	785
E. Salgueiro, V. Magalhães, L. Matos, A. Rebotim, F. Sousa, M. Schweizer, M. González Martín, A. Mega, L. Batista, and on-shore team	
Investigating ocean acidification off the Iberian Margin: Preliminary results from the CARBO-ACID cruise	787

RESUMOS DAS SESSÕES CIENTÍFICAS

CONFERÊNCIAS

Perigos naturais, avaliação de riscos e resposta a situações de emergência no arquipélago dos Açores: análise retrospectiva e prioridades para o futuro

J. L. Gaspar (1)

(1) Universidade dos Açores (Portugal); Joao.LR.Gaspar@azores.gov.pt

Localizadas em pleno Oceano Atlântico num quadro geodinâmico determinado pelo jogo das placas litosféricas euroasiática, africana e norte-americana, as ilhas dos Açores estão sujeitas a condições meteorológicas e geológicas que potenciam a ocorrência de inundações, cheias, movimentos de vertente, sismos, erupções vulcânicas, explosões de vapor, emanações gasosas e tsunamis, entre outros. Neste contexto, desde a sua descoberta e povoamento em meados do século XV, o arquipélago foi palco de vários eventos catastróficos, globalmente responsáveis por milhares de mortes e feridos, um elevado grau de destruição ao nível de edifícios, infraestruturas básicas e bens, e um forte impacto económico com repercussões que se estendem, em regra, ao longo de vários anos.

Os perigos naturais observados nos Açores ocorrem frequentemente associados no tempo e no espaço, por vezes, interagindo entre si, o que obriga a que a sua análise seja realizada numa perspetiva de multi-hazards e, por conseguinte, através de uma abordagem multidisciplinar. A este facto acresce que tais fenómenos naturais podem ser desencadeados ou potenciados por fatores antropogénicos, ou eles próprios desencadearem perigos tecnológicos e sociais de grande impacto o que alarga substancialmente o espectro da avaliação dos riscos existentes. Nesta apresentação relembram-se alguns dos acontecimentos registados nos Açores que ilustram a complexidade da questão no que concerne à avaliação dos riscos para efeitos de ordenamento do território e de planeamento de emergência, assim como à implementação de redes de monitorização e de sistemas de aviso e alerta para a tomada de decisões de proteção civil. Com base no observado, sublinha-se a importância do papel e da relação entre os vários atores envolvidos na resposta a situações de crise, designadamente, cientistas, autoridades, media e público. Neste domínio, dá-se nota da necessidade de (a) se reforçarem e modernizarem sob o ponto de vista tecnológico as redes de monitorização das áreas mais suscetíveis à ocorrência de perigos naturais, incluindo a transmissão e o tratamento de dados, (b) se estabelecerem normas de correspondência entre os níveis de alerta científico e as decisões operacionais de vigilância e de proteção civil, (c) se promoverem exercícios e ações regulares de formação e educação junto da comunidade para efeitos da resposta a situações de emergência, e (d) se implementarem procedimentos e mecanismos de comunicação que possibilitem à população vulnerável agir eficazmente perante a ameaça ou o desenvolvimento de perigos naturais.

* Em coautoria com Rita Carmo, Gabriela Queiroz e Teresa Ferreira

A inevitabilidade da prospecção mineral e mineração nas etapas futuras do desenvolvimento da Civilização Humana

A. Mateus (1)

(1) Universidade de Lisboa (Portugal); Instituto D. Luiz; amateus@ciencias.ulisboa.pt

A (r)evolução tecnológica em curso procura suportar modelos de crescimento socio-económico com menor intensidade carbónica e maior ênfase nos paradigmas que consubstanciam o conjunto das transformações associadas ao movimento conhecido como “Indústria4.0”. Esta (r)evolução amplia a necessidade de aceder a matéria-prima mineral, para além de energia, gerando dependência assinalável em elevado número de metais e metaloides, muitos deles considerados críticos devido à sua acrescida importância económica e risco de disrupção de abastecimento. O expectável aumento de procura por estes materiais nas próximas décadas coloca pressão acrescida nas várias componentes dos ciclos de mineração, as quais devem ainda responder aos múltiplos desafios colocados por padrões exigentes de eco-eficiência e de maior responsabilidade social e ambiental. Adicionalmente, tal aumento de procura exige que se avalie com detalhe as vulnerabilidades das cadeias de abastecimento das diferentes matérias-primas minerais e se identifique formas alternativas de suprir as necessidades de mercado. Melhorias de adaptação e resiliência do mercado são esperadas através da optimização dos fluxos entre ciclos de mineração e ciclos de produtos, criando assim, em cada momento, o “mix” mais adequado de fontes de matéria-prima que garanta o usufruto responsável dos recursos primários sem comprometer as etapas de desenvolvimento futuro da Civilização Humana. Neste contexto, a continuidade dos investimentos em prospecção e pesquisa mineral assume particular relevância, concorrendo para a identificação de novos recursos primários em diferentes ambientes geológicos e sistemas minerais. Sem este esforço será impossível providenciar materiais críticos a médio-longo prazo (em quantidade, qualidade e custo suportável), porquanto muitos deles ainda apresentam taxas de reciclagem bastante baixas e os caminhos bem-sucedidos e economicamente viáveis para sua substituição (parcial ou completa) afiguram-se bastante imponderáveis.

The Anthropocene – from Earth System Analysis and Sedimentology to Futures Literacy

R. Leinfelder (1)

(1) Freie Universität (Alemanha); Institute of Geological Sciences; reinhold.leinfelder@fu-berlin.de

Humans have altered the Earth System to such an extent that the difference between nature and culture has vanished. We remove entire mountains, cut new valleys, create new lakes, determine the flow of rivers, decide where sediments are deposited, heat up the climate and raise the sea level. We homogenise the living world to an almost unimaginable extent. Our annual plastic production equals the weight of all humans. In the meantime we have generated a technosphere weighing about 30 trillion tonnes. To do so we have consumed about 1.5-times more energy in the last 70 years – mainly from fossil fuels – than in the previous 12,000 years.

The results of this Anthropocene analysis not only demand the definition of a new formal chronostratigraphic epoch/series, the Anthropocene, with new geosignals and technofossils such as radioactive fallout, spherical carbon particles (SCPs) derived from industrial high-temperature processes, microplastic particles, neophytic species, and a great array of isotope signals characterising its sediments. It also challenges us to rethink our relation with the Earth System. Deep time reflections, a better understanding of temporal dynamics, interdisciplinary systemic approaches, and polyperspectivic futures scenarios should help to foster a futures literacy necessary for co-designing an Anthropocene Earth System, in which humanity can be carried along into a sustainable and just future.

Submarine volcanism in the Canary Islands in the 21st century

J-T. Vasquez Garrido (1)

(1) Instituto Español de Oceanografía, IEO (Espanha); juantomas.vazquez@ieo.csic.es

In the 21st century there have been two volcanic eruptions in the Canary Islands, the first took place in the southwestern flank of the island of El Hierro, between October 2011 and March 2012, which gave rise to the Tagoro volcano developed in an environment submarine and, the second occurred in the western part of the Cumbre Vieja volcanic ridge on the island of La Palma, between September and December 2021, although the lava flows from this volcanic eruption reached the marine domains and affected the seabed of the insular shelf and slope. The Spanish Institute of Oceanography (IEO, CSIC) has monitored the geological processes and the morphological changes of the seabed associated with the active stage of these two eruptions, as well as the physical-chemical and biological changes in the water column and on the marine ecosystems. In addition, once the eruption ended, the post-eruptive evolution of these volcanic systems has continued monitored by the IEO-CSIC, studying hydrothermal emissions as well as their effects on the water column properties and marine ecosystems. The eruption of the Tagoro volcano gave rise to the formation of an asymmetric volcanic cone on the slope of the El Hierro island, built mainly by pyroclastic emissions and lava balloons accumulations, although the presence of pillow lavas has also been recognized and a mixed flow was generated favor of the slope formed by volcanoclastic materials and rock debris generated by the landslides triggered by the eruption and by the collapses that the volcanic cone suffered during its evolution. In the 2021 La Palma eruption, an important volcanic cone grew up around the emission vent centers, characterized by an accumulation of ash and pyroclastic materials. In addition, it gave rise to important fields of lava flows. These lava flows normally reached the sea as “aa” type and generate two lava deltas that occupied practically the entire insular shelf. Upon reaching the shelf border, these lava flows were channeled along several submarine gullies present in the upper slope, which has given rise to a prism-shaped accumulation that reaches a depth of 300 m, generating both lava block fields and hollow-pillow lavas. The possibility of monitoring these two eruptions in the marine environment has allowed us to better understand not only the development of volcanic processes in the marine environment, but also the interaction between magmatic processes and the water column anomalies and the recovery processes of the marine ecosystems.

COMUNICAÇÕES

SESSÃO CIENTÍFICA 1 (SC_1)
(Mineralogia e Petrologia)

Conveners: Telmo Bento dos Santos; Elsa Gomes; Maria Elisa Gomes

O projecto EXCITE

R. Caldeira (1), M. Gonçalves* (2), F. Guimarães (1), P. Rodrigues (2), S. Walter(4), A. Guedes (3), G. ter Maat, (4)

(1) LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia rita.caldeira@lneg.pt

(2) FCUL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. * apresentador mgoncalves@ciencias.ulisboa.pt

(3) Instituto de Ciências da Terra, Pólo Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

(4) UU – Universidade de Utrecht

Summary: The EXCITE (Electron and X-ray microscopy Community for structural and chemical Imaging Techniques for Earth materials) project, unites leading European facilities for electron and X-ray microscopy of earth materials.

This project is mainly focused in providing access to existing high-end facilities in the field of earth and material sciences and, by this, enabling knowledge and experience exchanging of staff and potential users of the different key facilities (cutting-edge electron and X-ray microscopy) accessible for earth and material scientists as well as other potential users. LNEG and FCUL and FCUP provide access to their electron microprobe facilities.

EXCITE is also committed to develop community-driven technological imaging advancements that will strengthen and extend the current implementation of state-of-the-art microscopy for earth-materials research.

Key words: Electron, X-ray, microscopy, open-access, collaboration

Palavras-chave: Eletrões, raios-X, microscopia, livre-acesso, colaboração

O projeto EXCITE (Electron and X-ray microscopy Community for structural and chemical Imaging Techniques for Earth materials) assenta em 3 pilares:

1 - Acesso TransNacional (TNA), gratuito, às instalações e *expertise* nas áreas de microscopia eletrónica e de raios-X aplicada a materiais terrestres/geológicos. Fornecimento de apoio logístico, tecnológico e científico, bem como de treino específico, se necessário. O EXCITE também está focado no desenvolvimento de avanços tecnológicos de imagem voltados para a comunidade, a fim de fortalecer e estender a implementação da microscopia de ponta para pesquisa de materiais terrestres, nomeadamente os geológicos.

O TNA pode ser fornecido por:

- Acesso físico (despesas do usuário cobertas),
- Serviço remoto (enviar amostra(s) para o laboratório),
- Serviço remoto interativo (somente para alguns laboratórios selecionados),

O EXCITE disponibiliza acesso coordenado a 24 instalações de imagem em 9 países (Fig. 1).



Fig.1 – Mapa com os países participantes e respetivos laboratórios.

Saliente-se que os candidatos ao TNA devem trabalhar num país diferente do laboratório a que pretendem candidatar-se, sendo que 20% dos utilizadores podem ser de fora da UE. Assim, os

investigadores portugueses podem candidatar-se a um dos laboratórios europeus disponíveis para a realização de análises e obtenção de imagens.

No âmbito do TNA, o LNEG e a FCUL disponibilizam os equipamentos de microscopia para a realização de análises e a obtenção de imagens incluindo mapas de elementos. A maioria dos utilizadores tem sido do meio académico, investigadores e parceiros da indústria.

2 - Atividades de pesquisa conjunta (JRAs) para desenvolver técnicas de microscopia eletrónica e de raios-X integradas, visando a pesquisa de materiais terrestres. Os principais focos estão na padronização, comparação e desenvolvimento de fluxos de trabalho para plataformas de imagem (**JRA1**), em imagens multi-escala e multidimensionais de materiais terrestres (**JRA2**) e em aprendizagem de máquina para 2D e Imagens 3D em microscopia eletrónica e de raios-X (**JR3**).

3 - Atividades de *networking* para construir uma comunidade de cientistas da terra altamente qualificados, que sejam utilizadores ou potenciais utilizadores de técnicas de microscopia eletrónica e de raios-X. O EXCITE também está focado no desenvolvimento de avanços tecnológicos de imagem voltados para a comunidade, a fim de fortalecer e ampliar a implementação da microscopia de ponta para a investigação de materiais terrestres.

A colaboração entre infraestruturas de investigação é essencial para desenvolver e implementar uma área de investigação eficiente. Assim, um dos objetivos do projeto EXCITE é estabelecer atividades de integração de longo prazo e colaborações com as infraestruturas de investigação europeias existentes, bem como com outras instituições de classe mundial (RIs). O LNEG, a FCUL e a FCUP são responsáveis pela Tarefa 3.4 que tem como objetivo a criação daquelas ligações, de modo a promover interações estreitas entre a comunidade científica, nomeadamente para estabelecer colaborações com outras Infraestruturas, em alinhamento com o *European Strategy Forum Research Infrastructures* (ESFRI), bem como com outros projetos de Investigação ou outras instituições de investigação com recursos analíticos e de imagem. O objetivo é fomentar e criar vínculos com a comunidade EXCITE. No total, até agora foram identificadas 37 ESFRIs e RIs relacionadas com os temas do EXCITE, ainda que nem todos da mesma área científica. Verificou-se que, na comunidade EXCITE, já existiam envolvimento/colaborações com 20 das RIs visadas, tendo sido estabelecidas 4 novas colaborações. É provável, ainda, ampliar este tipo de colaboração. Assim, o EXCITE espera contribuir para o fortalecimento do panorama europeu das infraestruturas de investigação, de modo a estabelecer sinergias mais fortes entre as mesmas.

No âmbito da divulgação e formação, o projeto EXCITE tem produzido uma série de workshops cujas gravações podem ser visualizadas no Youtube, bastando procurar "EXCITE NETWORK".

Referências:

<https://excite-network.eu/>

Mineralogical and geochemical study of the Bejanca Sn-W deposit (Viseu, Central Portugal): preliminary results

Estudo mineralógico e geoquímico do jazigo de Sn-W da Bejanca (Viseu, Portugal Central): resultados preliminares

C. Carvalho (1) and I. Bobos (1)

(1) Department of Geosciences, Environment and Land-use Planning, Faculty of Sciences, University of Porto. Institute of Earth Sciences (ICT), Porto Pole. Rua do Campo Alegre 687, 4169-007 Porto, Portugal. carla.d.rcarvalho@gmail.com

Sumário: O jazigo de Sn-W da Bejanca (Viseu, Portugal Central) foi explorado durante grande parte do século XX e apresenta potencial para exploração futura. Na antiga mina da Bejanca existem dois tipos distintos de mineralizações primárias de tungsténio e estanho: (i) filões de quartzo mineralizados em volframite e cassiterite instalados num granito sin- a tardi-D₃; e (ii) mineralização perigranítica caracterizada por um stockwork composto por um conjunto de veios de quartzo com volframite e cassiterite inseridos num exogreisen. A paragénese hipogénica é composta por volframite, cassiterite, moscovite, fluorapatite, diversos sulfuretos e sulfossais de Bi-Ag e de Cu-As. A paragénese supergénica inclui covelite, escorodite, turquesa, greenockite e óxidos de Fe.

Palavras-chave: Bejanca, mineralizações de Sn-W, metalogénese Varisca

Keywords: Bejanca, Sn-W mineralizations, Variscan metallogenesis

Introduction

The Bejanca Sn-W deposit (Viseu, Central Portugal) was mined during a vast portion of the 20th century and has promising potential for future mineral exploration. Herein we report the preliminary results in terms of whole-rock geochemistry, reflected light microscopy and scanning electron microscopy recently obtained within the scope of the first author's PhD project. The main aims of this PhD project are: (i) to provide new insights related to the petrogenesis of the granitic rocks associated with the Bejanca Sn-W deposit; (ii) to characterize the mineralogy of this ore deposit.

Geological setting

The studied region is largely dominated by Variscan granites, which form two distinct suites: (i) syn- to late-D₃ two-mica granites; and (ii) late- to post-D₃ biotitic granites. The first granitic suite crops out along the core of a NW-SE-trending D₃ antiform (Porto-Viseu Antiform), whereas the late- to post-D₃ biotitic granites integrate a large composite intrusion (Beiras batholith) which crosscuts the antiformal structure (Fig. 1). The Bejanca Sn-W deposit is spatially associated with the syn- to late-D₃ Abraveses granite.

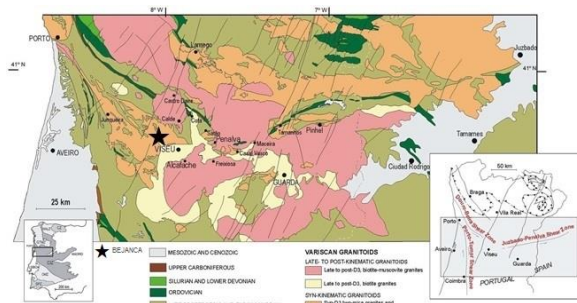


Fig. 1. Simplified geological map with the location of the old Bejanca Sn-W mine (modified from Valle Aguado et al., 2017).

Two distinct types of primary tin and tungsten mineralizations can be found in Bejanca: (i) intragranitic quartz veins; and (ii) perigranitic mineralization consisting of a stockwork hosted by an exogreisen.

Methods and results

Whole-rock geochemical analyses of granitic samples (Abraveses granite) were performed by ICP-MS. Reflected light microscopic examinations of mineralized quartz veins were conducted on 9 polished sections using a Nikon Eclipse Lv100 N Pol

Type R microscope coupled with a Nikon DS-Fi3 camera (DGAOT-FCUP). Scanning electron microscopy analyses of these polished sections were carried out using a FEI Quanta 400 FEG ESEM system (CEMUP). The Abraveses granite exhibits a strongly peraluminous signature ($A/CNK = 1.25 - 1.44$; CIPW corundum = 4.0 - 5.4%), suggesting an origin by partial melting of a metasedimentary protolith in mid-crustal levels (S-type granite). Upper continental crust normalized (Rudnick & Gao, 2003) trace element patterns display marked relative depletions in LILE (Ba and Sr) and HFSE (Nb and Ti). Strongly positive anomalies in U, Ta and P were also observed. This granitic facies shows a remarkable enrichment in Sn and W (up to 90 ppm and 14 ppm, respectively), which confirms its high metallogenic potential. Ore element enrichment was enhanced by magmatic differentiation processes. REE chondrite-normalized (Evensen et al., 1978) spectra are marked by significant LREE enrichments ($La_N/Yb_N = 10.02 - 10.20$) and prominent negative Eu anomalies ($Eu/Eu^* = 0.36 - 0.38$). Wolframite is mostly present as hipidio- to allotriomorphic crystals in quartz veins (Fig. 2) and its chemical composition is more enriched in Mn. Cassiterite occurs in subordinate amounts and shows a tendency towards idiomorphism (Fig. 3). Besides these ore minerals, the hypogenic paragenesis also comprises muscovite, fluorapatite, pyrite, arsenopyrite, sphalerite, chalcopyrite, stannite, pyrrhotite, bismuthinite, galena, native bismuth, Bi-Ag sulfosalts and enargite. The supergenic paragenesis includes covellite, scorodite, turquoise, greenockite and Fe-oxyhydroxides.

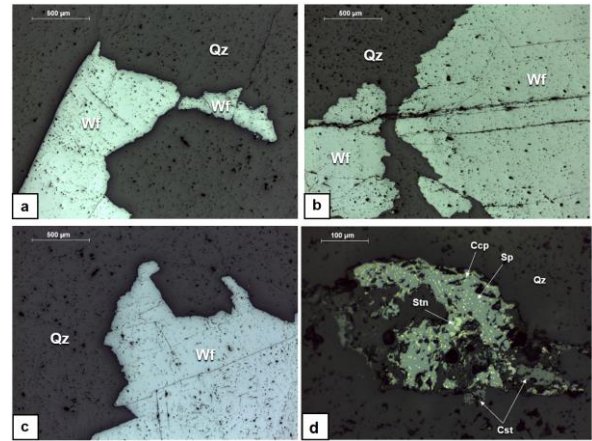


Fig. 2. Reflected light microphotographs of samples from Bejanca showing a wolframite (a, b, c) and cassiterite (d) mineralizations in quartz veins. Abbreviations: Ccp – chalcopyrite; Cst – cassiterite; Qz – quartz; Sp – sphalerite; Stn – stannite; Wf – wolframite.

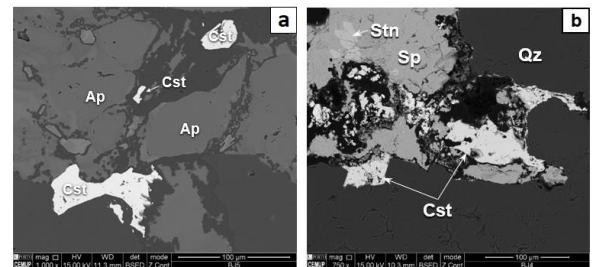


Fig. 3 - BSE images of samples from Bejanca showing a cassiterite mineralization in quartz veins. Abbreviations: Ap – apatite; Cst – cassiterite; Qz – quartz; Sp – sphalerite; Stn – stannite.

Acknowledgements: The first author is grateful to Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) for the financial support provided through her PhD grant (ref. 2020.09729.BD). The authors would also like to thank the ESMIMET project (ref. 0284_ESMIMET_3_E) for providing samples for this study, and to CEMUP, for performing the SEM-EDS analyses. Lastly, the authors are grateful to ICT – Instituto de Ciências da Terra and to DGAOT-FCUP for providing access to the research facilities and equipments necessary to carry out this study.

References

- Evensen, N.M., Hamilton, P.J. & O'Nions, R.K. (1978). Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42 (8), 1199-1212.
- Rudnick, R.L. & Gao, S. (2003). Composition of the Continental Crust. In: Rudnick, R.L. (ed.), *Treatise On Geochemistry* 3. Elsevier, 1-64.
- Valle Aguado, B., Azevedo, M.R., Nolan, J., Medina, J., Costa, M., Corfu, F. & Martínez Catalán, J. (2017). Granite emplacement at the termination of a major Variscan transcurrent shear zone: the late collisional Viseu batholith. *Journal of Structural Geology* 98, 15-37.

The Pedregal Migmatitic Complex (Porto region): diatexite U-Pb zircon age revisited and new oxygen isotope data

O Complexo Migmatítico do Pedregal (região do Porto): reanálise da idade U-Pb em zircão do diatexito e novos dados isotópicos de oxigénio

J. A. Ferreira (1*), H. Brites (1) and M. A. Ribeiro (1)

(1) Institute of Earth Sciences – Porto Pole, Department of Geosciences, Environment and Spatial Plannings, Faculty of Sciences, University of Porto, rua do Campo Alegre s/n, 4169– 007 Porto, Portugal

*joana.ferreira@fc.up.pt

Sumário: O Complexo Migmatítico do Pedregal é exemplo de um dos vários complexos anatécnicos gerados durante a última fase de deformação Varisca no Maciço Ibérico. No complexo do Pedregal afloram diatexitos e metatexitos espacialmente associados a granitos do tipo-S. Neste estudo, a idade U-Pb em zircão do diatexito do Pedregal é revisitada usando um método diferente do anteriormente aplicado, resultando numa idade de migmatização de 313.3 ± 0.5 Ma. Novos dados isotópicos de oxigénio em zircão do diatexito do Pedregal também são incluídos neste trabalho ($\delta^{18}O = 6.34 - 11.94$ ‰) indicando fontes crustais e semelhantes a fundidos provenientes de protólitos metassedimentares.

Palavras-chave: Varisco, anatexia, diatexito, zircão, U-Pb/ $\delta^{18}O$

Key words: Variscan, anatexis, diatexite, zircon, U-Pb/ $\delta^{18}O$

The Variscan Orogeny is the geological event which reshaped the most the Iberian Massif since the Lower Devonian until the late Carboniferous, resulting in three main deformation phases (D₁, D₂ and D₃). A profusion of magmatism in the Iberian autochthonous domain (325 – 285 Ma) occurred during the D₃ phase, namely in the Central Iberian Zone (CIZ), characterized by S-type granites and I-type. A high temperature metamorphic event is also associated to the granite generation. This event is in the origin of several metamorphic complexes in the CIZ where is common to have migmatites and S-type granites associated (Martínez Catalán et al., 2014).

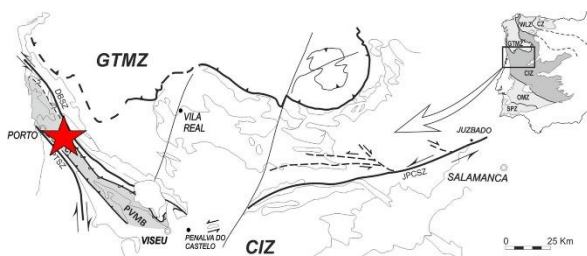


Fig. 1. Geological setting of the Pedregal Migmatitic Complex (red star) within the Porto-Viseu Metamorphic Belt (PVMB) and CIZ (adapted from Bento dos Santos et al., 2021).

The Pedregal Migmatitic Complex is an example of an anatexic complex in the CIZ at the NW edge of the Porto-Viseu Metamorphic Belt (Fig. 1). The migmatites are NW-SE elongated bodies

hosted in staurolitic micaschists of the Douro-Beiras Supergroup (Douro Group; Sousa, 1982). Spatially associated to the migmatites synorogenic granites are mapped: Porto two-mica granite; Gondomar tourmaline-rich granite; and Fânzeres foliated garnet-rich granite.

The Pedregal metatexites exhibit a stromatic texture defined by quartz-feldspathic leucosomes and micaceous paleosomes. The diatexites are fine to medium grained, with small biotitic nodules and a granoblastic texture mainly composed of quartz, plagioclase, muscovite, biotite and peritectic K-feldspar and sillimanite.

Ferreira et al. (2014) dated for the first time the Pedregal diatexite age using SHRIMP U-Pb zircon ages. It was calculated a 311 ± 5 Ma age (n=17) for the diatexite based on $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ average. A new approach was tested in the same data using the Isoplot R and it was estimated a new U-Pb concordia age of 313.3 ± 0.5 Ma (MSWD = 0.75; n=13; Fig. 2a) for the Pedregal diatexite. This migmatization age is within the age range of the syn-D₃ granites and it is similar to other migmatites of the CIZ (Ferreira et al., 2022).

New oxygen isotopes ($\delta^{18}O$) were also obtained from the analysed zircons (n=46) with a wide range of values from 2.70 to 11.94 ‰. Yet, the $\delta^{18}O$ low values (2.70 – 5.29 ‰; n=8) are associated to fractures/inclusions of the zircon crystals. So, in this study is considered the $\delta^{18}O$ range between 6.34 and 11.94 ‰ (n=38) with an average of 9.58 ± 0.08 ‰. These observed $\delta^{18}O$

compositions reflect an upper crustal origin of the source materials and they are similar to zircon $\delta^{18}\text{O}$ compositions from melts derived from metasedimentary protoliths and also S-type granites (Hartnady et al., 2019 and references therein).

The zircon $\delta^{18}\text{O}$ compositions expressed to VSMOW plotted against its respective zircon U-

Pb age reveal that the Variscan zircon ages have a similar oxygen isotopic content to the detrital zircons, particularly for the population between 550-650 Ma (Douro-Beiras Supergroup depositional ages; Fig. 2b). Thus, zircon oxygen isotopes indicate the Douro-Beiras Supergroup host rock as a possible source for the Pedregal diatexite.

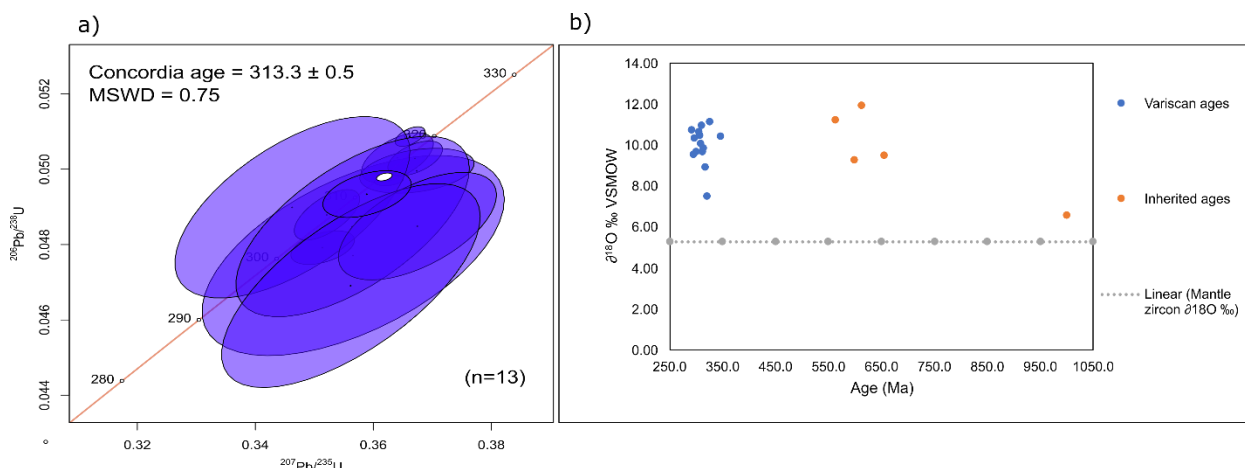


Fig. 2. a) Wetherill concordia diagram showing the U-Pb migmatization age for the Pedregal diatexite; b) $\delta^{18}\text{O}$ vs. U-Pb ages for the Pedregal diatexite.

Acknowledgements: The work is funded by national funds through FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., in the framework of the ICT project with the references UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020.

References

Bento dos Santos, T., Rodrigues, J. F., Castro, P., Cotrim, B., Pereira, I., Ferreira, J. A., Meireles, C., Ferreira, N., Ferreira, P., Ribeiro, A., & Guimarães, F. (2021). Exhumation of an anatectic complex by channel flow and extrusion tectonics: structural and metamorphic evidence from the Porto–Viseu Metamorphic Belt, Central-Iberian Zone. *International Journal of Earth Sciences*, 110(6), 2179–2201. <https://doi.org/10.1007/s00531-021-02067-z>

Ferreira, J., Martins, H. C. B., & Ribeiro, M. A. (2014). Geocronologia (U-Pb) e geoquímica do granito do Pedregal Geochronology (U-Pb) and geochemistry of the Pedregal granite. In *Especial I* (Vol. 101). <http://www.ineg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185>

Ferreira, J. A., Pereira, I., Bento dos Santos, T., & Mata, J. (2022). U–Pb age constraints on the protolith, cooling and exhumation of a Variscan middle crust migmatite complex from the Central Iberian Zone: insights into the Variscan metamorphic evolution and Ediacaran palaeogeographic implications. *Journal of the Geological Society*, 179(5). <https://doi.org/10.1144/jgs2021-072>

Martínez Catalán, J. R., Rubio Pascual, F. J., Montes, A. D., Fernández, R. D., Barreiro, J. G., Dias Da Silva, Í., Clavijo, E. G., Ayarza, P., & Alcock, J. E. (2014). The late Variscan HT/LP metamorphic event in NW and Central Iberia: relationships to crustal thickening, extension, orocline development and crustal evolution. *Geological Society, London, Special Publications*, 405(1), 225–247. <https://doi.org/10.1144/SP405.1>

Sousa, B. (1982). Litostratigrafia e estrutura do «Complexo Xisto-Grauváquico ante-ordovícico» - Grupo do Douro. In *Mem. Not. Lab. Min. Geol.* Universidade de Coimbra.

Serpentinite Mud Volcanism: A Case Study on Natural Mineral Carbonation

Vulcões de Lama Serpentinizada: Um caso de estudo sobre Carbonatação Mineral Natural

M. Freitas (1,2,3)*, S. Geilert (2), A. Heuser(2), K. Wallmann (2,3) and V. H. Magalhães (1,4)

(1) Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), DivGM, Algés, Portugal, *mafalda.freitas@ipma.pt

(2) GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Kiel, Germany

(3) Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Germany

(4) Instituto Dom Luiz (IDL, LA), Portugal

Sumário: A taxa de captação de CO₂ nos oceanos tem vindo a aumentar nas últimas duas décadas em resposta ao aumento da concentração de CO₂ atmosférico, causando o aquecimento dos oceanos, acidificação e perda de oxigênio. Hoje, o grande desafio é reduzir as emissões de CO₂ e, com isso, encontrar métodos eficientes e seguros de captura e armazenamento de carbono. A carbonatação mineral é uma opção muito promissora para o sequestro de carbono, capaz de diminuir as emissões antrópicas de CO₂ atmosférico e, conseqüentemente, mitigar as mudanças climáticas. In the O ante arco das Marianas, uma margem convergente ativa não acrecionária localizada na zona de subducção intra-oceânica onde a placa do Pacífico é subductada pela placa das Filipinas, a carbonatação mineral ocorre naturalmente como carbonatos autigénicos, precipitados nas lamas serpentiniticas de grandes vulcões de lama (Yinazao, Asùt Tesoru e Fantangisña). Este trabalho estuda a geoquímica isotópica (C, O, Ca e Sr) desses carbonatos autigénicos para entender as condições geoquímicas que promovem a sua precipitação e a sua fonte de carbono.

Palavras-chave: carbonatos autigénicos, vulcanismo de lama serpentinizada, ante arco das Marianas, serpentinição, sequestro de carbono

Key words: authigenic carbonates, serpentinite mud volcanism, Mariana forearc, serpentinitization, carbon sequestration

Large seamounts and mud volcanoes occur in the Mariana forearc, an active non accretionary convergent margin, located at the intra oceanic subduction zone where the pacific plate subducts the philippine plate. These geologic structures provide a direct window to the processes occurring at the subduction zone and at the boundary between these two plates. The understanding of such geological frames is of great importance since they are responsible for frequent and intense seismic activity, submarine slides and slope destabilization, potential triggers of natural catastrophes with potentially big human impacts. Furthermore, marine mud volcanism plays an important role on climate change through release of gases like methane and as a gateway to several energy resources like gas hydrates.

During IODP (International Ocean Discovery Program) Expedition 366, three large serpentinite mud volcanoes – Yinazao, Asùt Tesoru and Fantangisña - located at the Mariana forearc were sampled (Fig. 1).

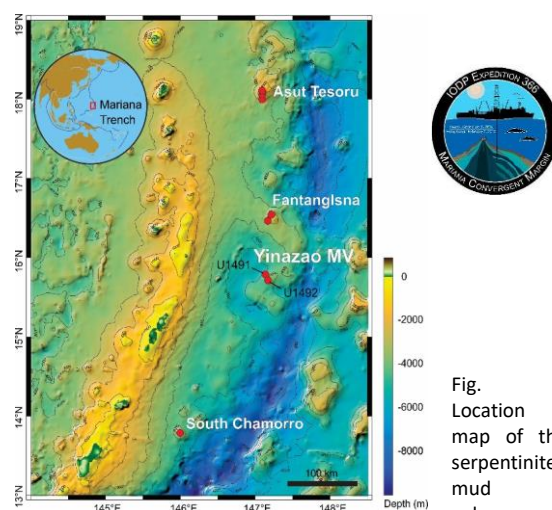


Fig. 1. Location map of the serpentinite mud volcanoes

and seamounts drilled during the IODP Expedition 366 with a highlight on the location of holes U1491 and U1492, at the flank and at the summit of the Yinazao mud volcano, respectively (Modified from Fryer *et al.*, 2018).

Here, mineral carbonation occurs naturally as authigenic carbonates, precipitated in the serpentinite muds from the mud volcanoes. These mud volcanoes are located at different distances from the Mariana's trench with different stages of metamorphism, reflecting different compositions in the expelled fluids (Fig. 2).

Samples containing authigenic carbonates from Yinazao, Asut Tesoru and Fantangisñã serpentinite mud volcanoes are being studied and characterized. The authigenic carbonates are found within serpentinite dominated sediment samples, predominantly within the core's top meters. These authigenic carbonates occur as spherulites, needles and concretions of aragonite and calcite (Fig. 3).

This work aims to characterize these authigenic carbonates to estimate the geochemical conditions that favour the precipitation of the authigenic carbonates and thus infer about the carbon source in these systems.

We performed a mineralogical and geochemical study of the authigenic carbonates. Stable carbon, oxygen and calcium isotopes were analysed, and the results were compared with the work previously done by Freitas *et al.* (2020).

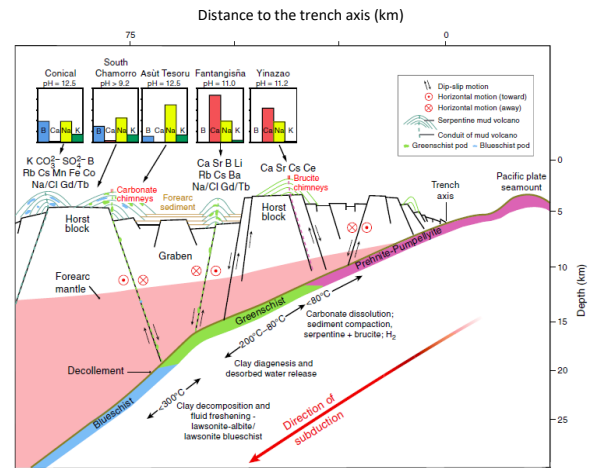


Fig. 2. Illustration of the Pacific plate subducting in the Philippine plate, the respective subduction channel, and different stages of metamorphism. Both temperature and depth increase with the increasing distance from the trench axis (Modified from Fryer *et al.*, 2018).

Preliminary results suggest that, as previously proposed by Freitas *et al.* (2020) for Yinazao serpentinite mud volcano, the major carbon source on authigenic carbonate precipitation at Asut Tesoru and Fantangisñã serpentinite mud volcanoes is also seawater related. The authigenic precipitation would result from the reaction between seawater sourced fluids with the serpentinitization sourced fluids that ascend through the mud volcanoes, which are highly alkaline and Ca and Sr enriched.

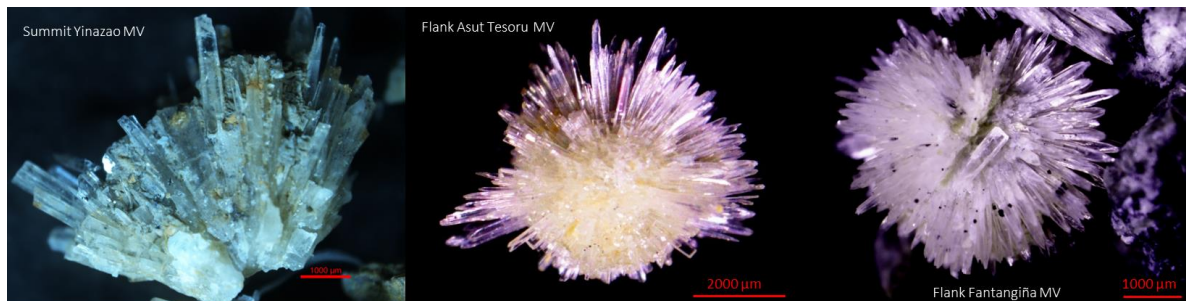


Fig. 3. Pictures from the authigenic carbonates found on the sediment cores collected at the Yinazao, Asut Tesoru and Fantangisñã serpentinite mud volcanoes (pictures taken at the binocular magnifier by Mafalda Freitas).

Acknowledgements: This study used samples provided by the Integrated Ocean Drilling Program (IODP). This work was supported by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT), through the individual research grant 2020.05409.BD.

References

- Fryer, P., Wheat, G., Williams, T., Scientists, t.E., (2017). Expedition 366 Preliminary Report: Mariana Convergent Margin and South Chamorro Seamount. International Ocean Discovery Program. doi: 10.14379/iodp.pr.366.2017.
- Freitas, M.; Magalhães, V. H.; Azevedo, M. R.; Pinheiro, L. M.; Salgueiro, E.; Abrantes, F. (2020). "Precipitação de Carbonatos Autigénicos no Vulcão de Lama Serpentinizada Yinazao". *Comunicações Geológicas*, 107 Esp. II, 17-22. https://www.ineg.pt/wpcontent/uploads/2020/07/02_Freitas-et-al_final_17-22.pdf.

Complexo Migmatítico e Granitóides de Bemposta (Zona Centro Ibérica, NE de Portugal): geocronologia e evolução tectónica

The Bemposta Migmatite Complex and granitoids (Central-Iberian Zone, NE Portugal): geochronology and tectonic evolution

M. E. Gomes (1), F. Martins (2,3), J. A. Nogueira Neto (3), M. R. Azevedo (2), F. Corfu (4) e C. Tassinari (5)

(1) Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, ECVA, Pólo UTAD-Centro de Geociências, Vila Real, Portugal
mgomes@utad.pt

(2) Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, GEOBIOTEC, Aveiro, Portugal

(3) Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, Fortaleza, Ceará, Brasil

(4) University of Oslo, Department of Geosciences, Postbox 1047, Blindern, N-0316 Oslo, Norway

(5) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, 05508-900 São Paulo, SP, 13 Brasil

Summary: *The Bemposta Migmatite Complex (CMB) belongs to the Central-Iberian Zone, NE Portugal. It is a high-grade metamorphic belt composed of metasediments of Ediacarian-Lower Cambrian age affected by partial melting during the Variscan deformation D₂. The anatexis culminated with intrusion of syn-tardi-D₂ leucogranite sills in the CMB at 324±3Ma. Field and petrographic evidence suggest that anatexis of the metasediments was controlled by muscovite dehydration-melting reactions. On the other hand, the stromatic leucosomes show that they were probably produced at a slightly deeper structural level and subsequently injected in these lithologies. During melt migration and ascent, they underwent fractional crystallization and accumulation of K-feldspar. Granitoids that intrude the CMB were most likely produced by higher degrees of partial melting, with ages indicating that there are two main magmatic episodes: the intrusion of the “earlier” syn-D₃ tonalite-granodiorite at 319-317 Ma, and the following suite of syn- to late-D₃ granites at 316-314 Ma.*

Key-words: Bemposta Migmatite Complex, Anatexis, Syn-Tardi-D₂ Leucogranites, Injection

Palavra-chave: Complexo Migmatítico de Bemposta, Anatexia, Leucogranitos Sin-Tardi-D₂, Injeção

Introdução

Na região de Bemposta, localizada no NE de Portugal, aflora um complexo migmatítico varisco, conhecido como Complexo Migmatítico de Bemposta (CMB). Do ponto de vista tectonostratigráfico, o CMB insere-se na Zona Centro Ibérica, um dos domínios do Maciço Ibérico, o segmento crustal que constitui a parte mais ocidental da Cadeira Varisca Europeia (Dias da Silva, 2013). O CMB corresponde a uma faixa metamórfica de alto grau, alongado na direção NE-SW, composto por metassedimentos migmatizados provavelmente do Grupo do Douro e por ortognaisses glandulares variavelmente migmatizados. Esta sequência de rochas foi intruída por numerosos corpos granitoides de idade varisca. Os dados estruturais e a análise petrográfica revelam que o CMB foi afetado por 3 fases de deformação durante a Orogenia Varisca (D₁, D₂, D₃), que provocaram a sua intensa deformação, metamorfismo e migmatização.

Métodos analíticos

Os dados isotópicos de Rb-Sr foram obtidos por ID-TIMS (Isotope Dilution - Thermal Ionisation Mass Spectrometry) no Laboratório Central de Análises da Universidade de Aveiro. Os dados geocronológicos U-Pb dos granitoides foram obtidos por ID-TIMS no

Departamento de Geociências da Universidade de Oslo, Noruega, em zircão, monazite e titanite, nos migmatitos e leucogranitos as datações por U-Pb, foram feitas no Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) da Universidade de São Paulo (Brasil).

Geocronologia e Evolução Tectónica

O bandado migmatítico do tipo estromático é a estrutura mais penetrativa nas rochas do CMB. Está disposto de forma concordante à S₂ regional, que é, em geral, sub-horizontal, embora possa estar dobrada e/ou verticalizada junto aos corredores de cisalhamento tardi-D₃. As evidências de campo, em conjunto com a análise petrográfica, revelam que o metamorfismo prógrado terá culminado com a fusão parcial dos metassedimentos que afloram no CMB. Estas rochas terão atingido as condições de fusão parcial no início do regime extensional D₂, que tem sido interpretado também como o pico metamórfico do trajecto evolutivo destas rochas (Escuder Viruete *et al.* 2000). Após o pico metamórfico, as rochas entraram num estágio de descompressão a altas temperaturas, onde as condições de anatexia deverão ter prevalecido até ao início da D₃ e gerado corpos tabulares do tipo *Sill* dispostos concordantemente com as estruturas D₂. O leucogranito da Faia d'Água Alta é um desses corpos

Sin-D₂ que ocorrem na região estudada. Dezasseis zircões deram idades pré-variscas ²⁰⁶Pb/²³⁸U (512 ± 6 Ma; 429 ± 7 Ma), que podem representar herança cambro-ordovícica. Cinco dos zircões deram uma idade concordante ²⁰⁶Pb/²³⁸U com 324 ± 3 Ma (2σ) com MSWD=0,046, fornecem uma boa estimativa para a anatexia durante a D₂ no CMB e a idade de cristalização do leucogranito de duas micas da Faia d'Água Alta (Martins *et al*, 2019). Os leucossomas intercalados não são bordejados por melanossomas e alguns destes contêm granada peritética, o que leva a supor que a maioria destes fundidos se formaram em níveis estruturais mais profundos (a partir da reação de fusão incongruente da biotite). Posteriormente foram injetados como leucossomas, ainda durante a D₂ nos terrenos onde atualmente se encontram. O CMB foi intruído por diversos corpos de maiores dimensões de granitoides e através da análise das texturas e das microestruturas indicativas de deformação, pode-se assumir que a sua cristalização ocorreu durante a D₃. O tonalito, por vezes com variações para granodiorito, ocorre em faixas estreitas e orientadas, e tem uma população de zircão que permitiu obter uma idade concórdia de 318,6 ± 0,5 Ma, com titanite um pouco mais jovem (316,6 ± 0,6 Ma). Nos granitos moscovítico>biotíticos e moscovíticos, a interpretação dos resultados isotópicos U-Pb obtidos no zircão é mais complexa devido a processos de perda de Pb e também à presença de núcleos herdados, que ocorrem também na monazite. O zircão mais jovem nos granitos moscovítico>biotíticos tem uma idade na concórdia de 313,9 ± 0,8 Ma, enquanto a idade mais jovem ²⁰⁷Pb/²³⁵U obtida em monazite foi 315,8 ± 1,5 Ma.

A razão (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_{320Ma} foi calculada para os mesossomas, leucossomas, leucogranitos, tonalito e granitos

moscovítico>biotíticos, assumindo a idade de 320 Ma para a 3ª fase de deformação (Tabela 1).

Tabela 1. Razão (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_{320Ma} para as várias litologias.

Litotipos	(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _{320Ma}
Mesossomas	0,71813-0,72522
Leucossomas	0,70374-0,72123
Leucogranitos Sin-D2	0,71417-0,72179
Tonalitos	0,70666-0,70742
Granitos Mo>Bi Sin-D3	0,70962-0,71513

Estes valores sugerem uma origem por fusão parcial de protólitos com composição análoga à dos metassedimentos do Grupo do Douro, porém os tonalitos e granitos moscovítico>biotíticos ter-se-iam formado a partir de fundidos de anatexia crustal heterogéneos (granito do tipo S) e poderá haver uma contribuição de fundidos derivados da fusão de ortognaisses em alguns granitoides. As características petrográficas, mineralógicas, geoquímicas e geocronológicas dos granitoides indicam que o tonalito/granodiorito terá resultado da fusão parcial de materiais da crosta inferior ou, eventualmente, da ocorrência de processos de mistura entre magmas mantélicos e da crosta inferior com materiais da crosta superior. Por outro lado, os granitos moscovítico>biotíticos ter-se-ão formado a partir da fusão parcial de materiais metassedimentares heterogéneos. A atividade magmática na região de Bemposta resulta de anatexia que se iniciou no regime extensional D₂, há 324 Ma e se intensificou em dois episódios magmáticos principais com a intrusão precoce do tonalito/granodiorito sin-D₃ entre os 319 e 317 Ma, seguida da instalação dos granitos moscovítico>biotíticos e moscovíticos no período sin- a tardi-D₃, entre 316-314 Ma.

Agradecimentos: O trabalho de campo teve apoio da Câmara Municipal de Mogadouro. Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia GeoBioTec e Pólo UTAD-Centro Geociências. O estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

Referências

- Dias da Silva, I. (2013). Geología de las Zonas Centro Ibérica Y Galicia-Trás-Os-Montes en la parte oriental del Complejo De Morais, Portugal/España. Tese de Doutoramento. Universidad de Salamanca.
- Escuder Viruete, J., Lindares, A., Arenas, R. (2000). P-T Paths Derived from Garnet Growth Zoning in an Extensional Setting: an example from the Tormes Gneiss Dome (Iberian Massif, Spain). *Journal of Petrology*, 41, (10): 1489-1515.
- Martins, F., Azevedo, M.R., Aguado, B.V., Gomes, E.P., Tassinari, C., Neto, J.N. (2019) SHRIMP U-Pb ages and REE patterns for zircon from an anatectic Variscan two-mica granite from the Bemposta Migmatite Complex (Central Iberian Zone). *The Canadian Mineralogist* (2020) 58 (6): 847–861.

Zircon U-Pb dating and Lu-Hf isotopes of granite intrusions from North and Central Portugal: emplacement age and source of magma

Datação U-Pb e isótopos de Lu-Hf em zircão de intrusões graníticas do Norte e Centro de Portugal: idade de instalação e fonte do magma

A. Gonçalves (1), H. Sant'Ovaia (2) and F. Noronha (3)

(1) Instituto Ciências da Terra, Polo Porto, ana.goncalves@fc.up.pt

(2) Instituto Ciências da Terra, Polo Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

(3) Instituto Ciências da Terra, Polo Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Sumário: Os granitos de Freixo de Numão (GFN) e Capinha (GC) situam-se na Zona Centro Ibérica (ZCI). O primeiro intrusivo em metassedimentos da ZCI-Norte e o segundo em metassedimentos da ZCI-Sul. Foram realizadas datações U-Pb e análises isotópicas Lu-Hf em zircões magmáticos e herdados de ambos os granitos. A datação U-Pb, revelou idades de cristalização de 306 ± 2 Ma e 301 ± 3 Ma para o GFN e GC, respetivamente. Os valores de $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ no GFN variam entre -16,8 e +8,4, e no GC variam entre -19,4 e +10,1. A datação U-Pb mostrou que valores positivos de $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ foram obtidos principalmente em zircões herdados em ambos os granitos o que sugere protólitos de natureza diferente e com contribuição meta-ígneia máfica. As idades obtidas os dois maciços são consistentes com as observações de campo, indicando que ambos correspondem a granitos tardi- a pós-cinemáticos.

Palavras-chave: granitos, zircão, datação U-Pb, isótopos de Lu-Hf, fusão

Key words: granites, zircon, U-Pb dating, Lu-Hf isotopes, melting

1. Geology

The Freixo de Numão granite (FNG) has sharp, irregular, and discordant contacts with metasediments from Northern – Central Iberian Zone (CIZ) units (Villaseca et al., 2014). A contact metamorphism aureole of biotite \pm andalusite developed around the intrusion, indicating low-pressure and high-T metamorphic conditions superimposed to a previous low-grade regional metamorphism (chlorite \pm biotite). FNG corresponds to a biotite-rich, medium- to coarse-grained, porphyritic with rare metasedimentary and mafic microgranular enclaves. FNG has no oriented fabric visible at macro- and meso-scale. Capinha granite (CG) has sharp and regular intrusive contacts to the east with metasediments from Southern-CIZ units (Villaseca et al., 2014) and to the west with biotite-rich Peroviseu-Seia granite. In contrast to what happens in FNG, the emplacement of CG does not imply contact metamorphism. The CG is a homogeneous pluton composed of two-mica (muscovite > biotite), medium-grained, slightly porphyritic granite (Fig. 1). For further information see Gonçalves (2021) and references therein.

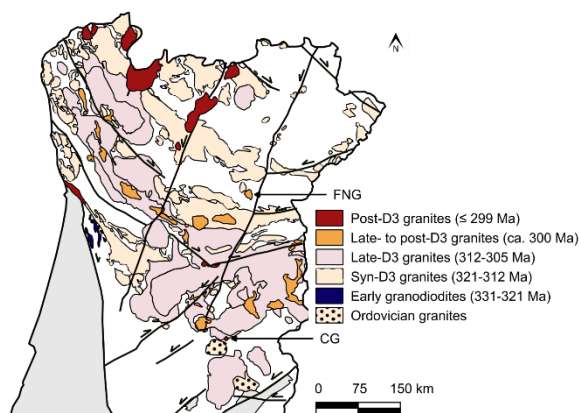


Fig. 1 Simplified geological map from N and Central Portugal showing the location of CG and FNG.

2. Methods and Materials

Zircon cores from both granites were dated by LA-MC-ICPMS at SGIker-Geochronology and Isotope Geochemistry Facility of the University of the Basque Country (Spain). Lu-Hf isotope data were obtained using the same method as U-Pb at Axel Gerdes Laboratory in Frankfurt.

3. Results and Discussion

3.1. U-Pb ages

U-Pb ages of magmatic zircons from FNG and CG were found, within the level of 2σ errors. FNG shows crystallization ages of 306 ± 2 Ma (red ellipses, Fig.

2a) and CG displays crystallization ages of 301 ± 3 Ma (red ellipses, Fig. 2b). Blue ellipses of FNG exhibit a 284 ± 4 Ma age corresponding to a younger event of thermal overprinting, because thus the ages belong to zircon rims (Fig 2a). Blue ellipses of CG show 317 ± 3 Ma (Fig 2b) corresponding to old ages, perhaps zircons from Peroviseu-Seia, that were assimilated during magma ascending.

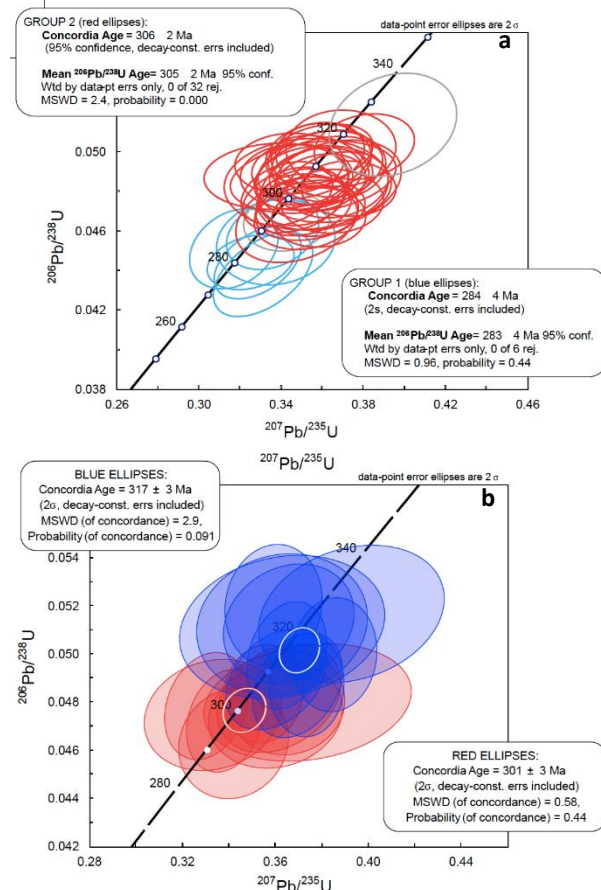


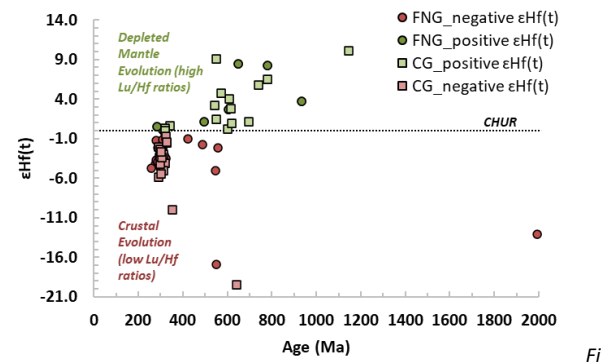
Fig. 3. U-Pb Concordia diagrams for (a) Freixo de Numão and (b) Capinha granites.

Inherited zircons from FNG (11 zircons) display very heterogeneous ages distribution, including Neoproterozoic ($n=7$, 925 ± 40 to 546 ± 18 Ma), Upper Cambrian ($n=2$, 495 ± 19 to 489 ± 12 Ma), Paleoproterozoic ($n=1$, 1992 ± 61 Ma) and Upper Silurian ($n=1$, 423 ± 11 Ma) ages. Inherited zircons from CG (14 zircons) are roughly clustered only in two groups, Neoproterozoic ($n=13$, 779 ± 27 to 544 ± 18 Ma) and Upper Mesoproterozoic ($n=1$, 1146 ± 67 Ma) ages.

3.2. Lu-Hf isotopes

$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values were measured in zircons of FNG (Fig. 2), and the values range between -16.8 and $+8.4$. However, 14 % of the analyzed zircons ($n = 7$) display positive and 86 % ($n = 44$) show negative $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values. Zircons from CG displayed a larger range of $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ from -19.4 to $+10.1$ (Fig. 3). Although, 43 % of the analyzed zircons ($n=15$) display positive and 57 %

($n=20$) exhibit negative values. It must be noticed, that U-Pb isotope data showed that positive $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values were mostly obtained in inherited zircons of both granites.



g. 2. $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ versus U-Pb ages (Ma) obtained for CG and FNG.

Thus, negative $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values obtained in magmatic zircons from both granites indicates that pre-existing continental crust was involved in magma genesis. On the other hand, positive $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values obtained in inherited zircons indicates that the material which melted to form the magma from which the zircon crystallized was derived from a reservoir with major metaigneous contribution.

4. Conclusions

U-Pb dating combined with Lu-Hf isotopes can provide important information about emplacement periods and possible magma sources. The crystallization ages and Lu-Hf isotopes obtained for both granite intrusions are consistent with field observation pointing out that both are late to post kinematic granites resulting from magmas with lower crustal origin.

Acknowledgements: Research funded by FCT, Grant Number SFRH/BD/115324/2016 and supported by national funding by FCT—UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020. The authors thank to Prof. R. Teixeira for availability during the zircons montage.

References

- Gonçalves, A. (2021). Role of the late-Variscan structures in the emplacement of late-orogenic granitoids in NW Iberian Peninsula. Metallogenic implications in the occurrence of W (Sn) mineralizations. PhD thesis, URL: https://sigarra.up.pt/fcup/pt/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=520700
- Villaseca, C., Merino, E., Oyarzun, R., Orejana, D., Pérez-Soba, C., & Chicharro, E. (2014). Contrasting chemical and isotopic signatures from Neoproterozoic metasedimentary rocks in the Central Iberian Zone (Spain) of pre-Variscan Europe: Implications for terrane analysis and Early Ordovician magmatic belts. *Precambrian Research*, 245, 131–14.

Serpentine-to-chlorite transformation in serpentized ultrabasic rocks from the Upper Allochthonous Terrane of the Bragança Complex, NE Portugal

Transformação de serpentina para clorite em rochas ultrabásicas serpentizadas do Complexo Alóctone Superior do Maciço de Bragança, NE de Portugal

G. Ínsua-Pereira (1)*, I. Bobos (1) and C. Pinto de Meireles (2)

(1) Instituto de Ciências da Terra (ICT) – Polo do Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169–007 Porto, Portugal, *ginsua@fc.up.pt

(2) Unidade de Geologia, Hidrogeologia e Geologia Costeira, Laboratório Nacional de Energia e Geologia I.P. (LNEG), Rua da Amieira, Ap. 1089, 4466-901 S. Mamede de Infesta, Portugal

Sumário: A transformação de serpentina para clorite foi identificada nas rochas ultrabásicas serpentizadas do Maciço de Bragança, NE de Portugal. O principal objetivo deste trabalho consiste na caracterização estrutural, cristaloquímica e termodinâmica desta reação. Os espetros de DRX obtidos permitem a identificação de lizardite ($d[hkl] = 7.32 \text{ \AA}, 4.55 \text{ \AA}, 3.65 \text{ \AA}, 2.65 \text{ \AA}, 2.45 \text{ \AA}, 2.09 \text{ \AA}, 1.74 \text{ \AA}, 1.53 \text{ \AA}$) e clorite ($d[hkl] = 14.25 \text{ \AA}, 7.14 \text{ \AA}, 4.71 \text{ \AA}, 3.55 \text{ \AA}, 2.83 \text{ \AA}$). As composições cristaloquímicas gerais obtidas a partir de EPMA são de $(Mg_{2.65-2.79}, Fe_{0.08-0.20}, Al_{0.01-0.06})(Si_{1.94-2.07}, Al_{0-0.06})Os(OH)_4$ para a serpentina e de $(Mg_{2.84}, Fe_{1.79}, Al_{1.23})(Si_{2.82}, Al_{1.18})O_{10}(OH)_8$ para uma Mg,Fe clorite. A reação mineralógica terá resultado da ação de fluidos hidrotermais a temperaturas de aproximadamente $350 (\pm 50) \text{ }^\circ\text{C}$, num evento pós-serpentinização, responsável pela transformação da serpentina em Mg,Fe-clorite através de um processo de dissolução e cristalização.

Palavras-chave: serpentina para clorite, Bragança, Portugal

Key words: serpentine to chlorite, Bragança, Portugal

Introduction

Fe-Mg silicates of ultrabasic rocks may be hydrolysed into serpentine minerals during hydrothermal metamorphism (serpentinization). Lizardite can be transformed into antigorite, talc, chlorite or interstratified structures between 1:1 and 2:1 layers or 2:1:1 layers. The transformation of lizardite into chlorite was identified in serpentized ultrabasic rocks of the Upper Allochthonous Terrane (UAT) of the Bragança Complex, NE Portugal. The main goals of this work are to characterize this reaction structurally and crystal-chemically, and to evaluate its thermodynamic conditions.

Geological setting

The Bragança Complex occupies an extension from Bragança to Vinhais (NE Portugal), and preserves the uppermost unit of a nappe stack structure (UAT), encompassing a mafic-ultramafic igneous suite of gabbros, pyroxenites, hornblendites and

metaperidotites (e.g. Pereira, 2000, 2006; Fig. 1), the latter characterized by various degrees of serpentinization.

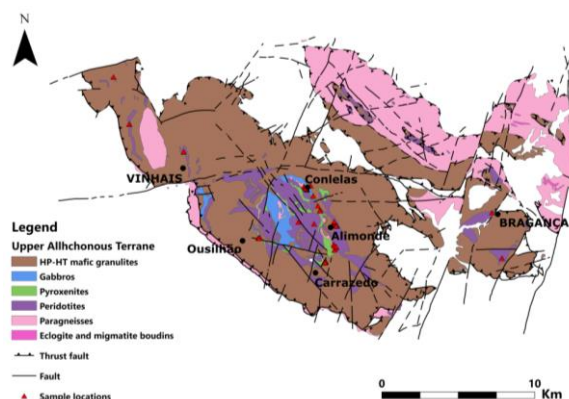


Fig. 1. Geological map of the UAT of the Bragança Complex, NE Portugal (adapted from Pereira, 2000).

Materials and techniques

Samples of secondary minerals have been collected directed from veins in serpentinized ultrabasic rocks, powdered and prepared for XRD analyses. These have been carried out with a Phillips X'Pert diffractometer equipped with a CuK α radiation and a scanning speed of 1° 2 θ /min in the range 2–65°2 θ , at the Earth Sciences Department of University of Minho, Braga, Portugal. Quantitative major element compositions have been determined by EPMA, performed in ultrabasic rock thin sections using a Jeol Hyperprobe JXA-8500F operated at 15 kV accelerating voltage and 10 nA beam current. Detection limits (3 σ) above mean background were 0.03 wt.% for most oxides with counting times of 80s. EPMA have been performed at the Scientific and Technical Services of University of Oviedo, Spain.

Results

Serpentine and chlorite species were identified by XRD. The $d(hkl)$ plans at 7.32 Å, 4.55 Å, 3.65 Å, 2.65 Å, 2.45 Å, 2.09 Å, 1.74 Å, and 1.53 Å were identified for lizardite (serpentine group), while $d(hkl)$ plans for chlorite occur 14.25 Å, 7.14 Å, 4.71 Å, 3.55 Å, and 2.83 Å. The crystal-chemical compositions corresponding to serpentine and Mg,Fe-chlorite are, respectively, Mg_{2.65-2.79}, Fe_{0.08-0.20}, Al_{0.01-0.06}(Si_{1.94-2.07}, Al_{0-0.06})O₅(OH)₄, and [(Mg_{2.84}, Fe_{1.79}, Al_{1.23})(Si_{2.82}, Al_{1.18})O₁₀(OH)₈]. The crystal-chemical compositions for Mg-Fe-chlorite were plotted in the R²⁺ vs Si(IV) diagram (Bourdelle & Cathelineau 2015), indicating

temperatures of chlorite crystallization about 350 (±50) °C (Fig. 2).

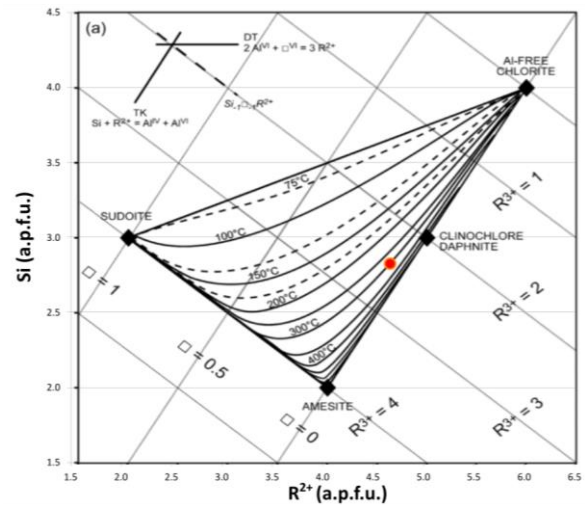


Fig. 2. Diagram of R²⁺ vs Si(IV) (Bourdelle & Cathelineau 2015).

Serpentine to chlorite transformation implies a structural transformation of a 1:1 structure to a 2:1:1 structure. Crystal-chemistry implies an increase of Si, Al, Mg and Fe contents reflected in the crystallization of new tetrahedral and tri-octahedral sheets corresponding to Fe,Mg-chlorite. The serpentine-to-chlorite reaction did occur at a T (°C) about 350 (±50) after the serpentinization of ultrabasic rocks.

Acknowledgements: This work is supported by a Doctoral Scholarship (reference SFRH/BD/149312/2019) awarded by the Foundation for Science and Technology (FCT), financed through the national budget and the community budget by the European Social Fund (ESF), through of the Northern Regional Operational Program (NORTE2020), and by project UIDB/04683/2020 – Institute of Earth Sciences (ICT).

References

- Bourdelle, F., & Cathelineau, M. (2015). Low-temperature chlorite geothermometry: a graphical representation based on a T–R²⁺–Si diagram. *European Journal of Mineralogy*, 27(5), 617–626. <https://doi.org/10.1127/ejm/2015/0027-2467>
- Pereira, E. S., Coord. (2000). Carta Geológica de Portugal à escala 1:200.000, Folha 2. Inst. Geol. Mineiro.
- Pereira, E. S., Coord. (2006). Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200.000, Folha 2. Inst. Nac. Eng. Tec. Inov.

Pluma magmática no Granito de Lavadores (V. N. Gaia, NW Portugal)

Magmatic plume on Lavadores Granite (V. N. Gaia, NW Portugal)

A. Lorenz (1), B.C. Rodrigues (2), J. Pamplona (3) e M. Peterzell (4)

(1) Tectonophysics, Institute of Geoscience, University of Mainz, 55128 Mainz

(2) CCT - Centro de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, bjcrodrigues@gmail.com

(3) ICT - Instituto de Ciências da Terra, Pólo da Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga

(4) Institutionen för Geovetenskap, Göteborgs Universitet, Guldhedsgatan 5c, 41320 Göteborg

Summary: The Lavadores Granite shows a feldspathic plume structure that is an association of an irregular mafic tonalitic layer with an exotic K-feldspar crystallization, plus a heterogeneous nucleation on the tonalite boundary and a dendritic and comb grown, representing an almost completely continuous structure. The observations lead to the hypothesis that the dendritic plume structure crystallization is a result of specific conditions inside schlieren and in their vicinity. The plume structures seem to be crystallized freely inside the open tonalitic layer/schlieren and the model of "hollow space" at the transition zone would explain this free crystallization of the plume structures.

Key words: magmatic plume, magma blob, granite, tonalite

Palavras-chave: pluma magmática, bolha de magma, granito, tonalito

Introdução

O Granito de Lavadores é um maciço varisco, pós-tectónico. O granito intruiu no bordo ocidental da ZCI na transição para a ZOM, ao longo da Faixa Blastomilonítica de Oliveira de Azeméis-Porto (Bento et al., 2021), que corresponde localmente a uma das estruturas variscas mais importantes, a Zona de Cisalhamento Dúctil Porto-Tomar (ZCDPT). O sistema de falhas de desligamento subvertical orienta-se aproximadamente para NW-SE e estende-se ao longo de aproximadamente 170 km do Porto até Tomar. A zona de cisalhamento dextra de 2-8 km de largura tem uma história complexa, tendo estado ativa desde o Devónico-Carbonífero, até ao Quaternário (eg., Ribeiro et al., 1980). Constitui uma importante zona de fraqueza do soco que suporta a instalação do Granito de Lavadores – alinhado ao longo do plano da zona de cisalhamento (Fig. 1).

A pluma magmática (feldspática)

É a primeira vez que uma pluma magmática feldspática é identificada no Granito de Lavadores. Esta estrutura consiste numa associação de um leito tonalítico máfico irregular com uma cristalização pouco comum de feldspato potássico (Fk) apresentando, ainda, uma nucleação heterogénea no limite tonalítico com crescimentos dendrítico e em "comb". Esta pluma é quase completamente contínua ao longo do afloramento (Fig. 2).

Os cristais de Fk crescem no interior duma banda de composição tonalítica de dimensão similar a estes. Os cristais de Fk podem, também, nuclear no granito e

crescerem cortando a totalidade da banda máfica, ocorrendo, por vezes, isolados no interior do granito (Fig. 2e).

As observações conduzem à hipótese de que a cristalização da pluma de geometria dendrítica é o resultado de condições específicas dentro e na vizinhança dos "schlieren".

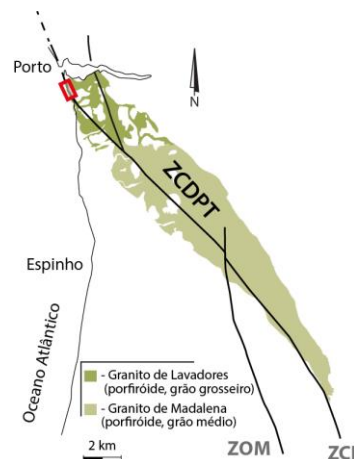


Fig. 1. Esquema geológico representando a relação entre o Granito de Lavadores e a ZCDPT (baseado na "Carta Geológica de Portugal", escala 1/50 000, folhas 9-C Porto (Costa & Teixeira, 1957), e 13-A – Espinho (Teixeira et al., 1962). O retângulo vermelho indica o sector estudado.

A área entre as estruturas em pluma e um migmatito a SW contém acumulações de fenocristais de Fk, encraves máficos e "schlieren", elementos estes que constituem uma boa evidência para a ocorrência duma bolha magmática. Um argumento adicional é a semelhança mineralógica entre o leito tonalítico e o

"schlieren" máfico. De acordo com o referido anteriormente, o leito tonalítico e a pluma magmática são uma zona de transição entre a bolha magmática e o típico Granito de Lavadores (Fig. 2). Contudo, em comparação com a bolha magmática descrita por Weinberg et al. (2001), a dimensão desta estrutura, proposta para o Granito de Lavadores, é bastante mais ampla e a sua delimitação pelas estruturas da pluma magmática e "schlieren" não é completamente contínua.

Aceitando como válido o modelo de bolha magmática, o gradiente de pressão negativa gerado

na zona de fronteira (bolha magmática/granito) levou à migração do líquido magmático intersticial das partes adjacentes do Granito de Lavadores e, ainda, de fluidos residuais ricos em Fk da bolha magmática, levando a uma cristalização neste limite reológico (Fig. 2). As estruturas da pluma magmática parecem ter cristalizado livremente dentro da camada tonalítica/schlieren e um modelo de "hollow space", na zona de transição, explicaria esta tipologia de cristalização.

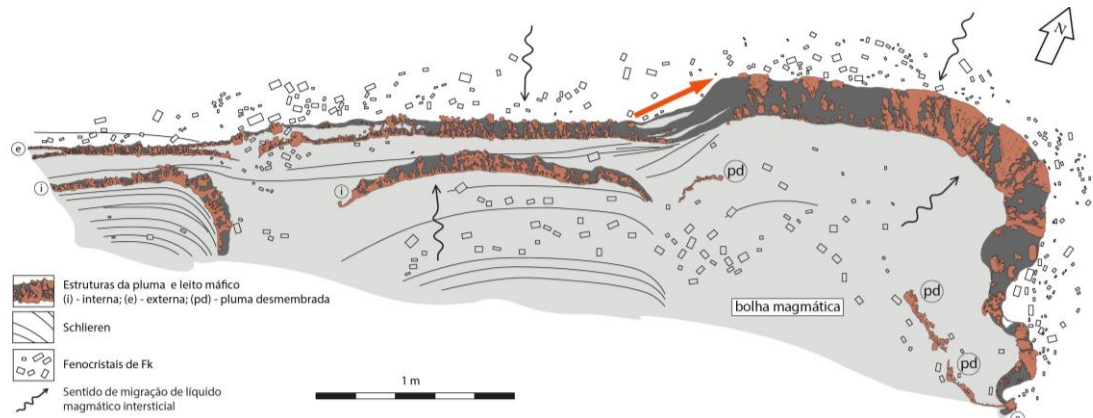


Fig. 2. Esquema das estruturas da pluma magmática (e - externa, i - interna e pd – pluma desmembrada). O schlieren mostra a mesma orientação do setor interno (i) da pluma. O schlieren apresenta uma ligeira curvatura e desenvolve parcialmente níveis "entrecruzados". O tonalito está representado a cinzento escuro e o Fk da pluma a castanho. A seta vermelha marca um provável movimento, somente na parte E, onde as estruturas da pluma mostram uma cristalização mais acentuada e provavelmente um "cut-off" superior (adaptado de Pamplona et al., 2023).

Agradecimentos: Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projectos Ref^s UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Bento dos Santos, T., Rodrigues, J.F., Castro, P., Cotrim, B., Pereira, I., Ferreira, J.A., Meireles, C., Ferreira, N., Ferreira, P., Ribeiro, A., Guimarães, F. (2021). Exhumation of an anatectic complex by channel flow and extrusion tectonics: structural and metamorphic evidence from the Porto – Viseu Metamorphic Belt, Central-Iberian Zone. *International Journal of Earth Sciences*, 110, 2179-2201.
- Costa, J.C. & Teixeira, C. (1957). Carta geológica de Portugal na escala 1/50000. Notícia explicativa da folha 9C-Porto. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Pamplona, J., Rodrigues, B.C., Peternell, M., Lorenz, A., Schimdt, A., Mengert, M., Altmeyer, T., Köpping, J. (2023). Structures associated with the dynamics of granitic rock emplacement (NW Portugal). In: Soumyajit Mukherjee (ed.). *Structural Geology and Tectonics Field Guidebook*, 2nd Edition. SpringerNature, Springer International Publishing AG, 61-156.
- Ribeiro, A., Pereira, E. & Severo, L. (1980). Análise da deformação da zona de cisalhamento Porto-Tomar na transversal de Oliveira de Azeméis. *Com. Serv. Geol. Portugal*, 66, 3-9.
- Teixeira, C., Perdigão, J. & Assunção, C.T. (1962). Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000 e Notícia Explicativa da folha 13-A (Espinho). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 35 p.
- Weinberg, R.F., Sial, A.N. & Pessoa, R.R. (2001). "Magma flow within the Tavares pluton, northeastern Brazil: Compositional and thermal convection". *Geological Society of America Bulletin*, 113, 508–520.

Um novo método de prospeção geoquímica para a identificação de depósitos profundos do tipo VMS. Aplicação ao depósito de Cu-Zn de Neves-Corvo, Faixa Piritosa Ibérica

A new geochemistry exploration method to identify deep VMS-type deposits. Application to the Cu-Zn Neves-Corvo deposit, Iberian Pyrite Belt

I. Morais (1), L. Rosado (2), L. Albardeiro (1), J. Mirão (2), M. J. Batista (1), J. X. Matos (1)

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), igor.morais@lneg.pt

(2) Laboratório Hércules – Universidade de Évora

Summary: The fast energetic transition in the world needs large amounts of mineral resources that are currently scarce. For the suppression of these needs, new mineral deposits must be found, demanding the development of new exploration techniques. Currently, in several metallogenetic provinces, surface deposits are rare. In the Iberian Pyrite Belt, geophysical techniques, namely gravimetry and electromagnetics, have been used over the last years leading to the discovery of several hidden Volcanogenic Massive Sulphide deposits (VMS). Therefore, it is proposed a new geochemical technique that, through the chemical analysis of rock coatings, can lead to the identification of mineral deposits located at great depth. The method is represented by the European Patent EXPLORA – LNEG/Évora University-Hércules Laboratory.

Key words: coatings; mineral geochemistry; VMS; Neves-Corvo; Iberian Pyrite Belt

Palavras-chave: patines em rochas, geoquímica mineral, VMS, Neves-Corvo, Faixa Piritosa Ibérica

Os recursos minerais e a exploração mineira são essenciais para o desenvolvimento da sociedade moderna. Com a diminuição das reservas de metais e o encerramento de algumas minas, a partir dos anos 60 do século XX, desenvolveu-se um esforço de prospeção significativo, centrado em depósitos ocultos que podem estar a profundidades superiores a 1000 metros. A Faixa Piritosa Ibérica (FPI) é uma das maiores províncias de VMS do mundo, contendo mais de 90 depósitos descobertos até ao momento e distribuídos ao longo do Sul de Portugal e Espanha. Em Portugal durante muitos anos a técnica da gravimetria foi o método mais importante e eficaz na FPI para a identificação de corpos de sulfuretos maciços ocultos, p.e. Feitais (Aljustrel), Neves-Corvo (Castro Verde) e Lagoa Salgada. A geoquímica é também uma das ferramentas de prospeção utilizadas na FPI (Batista et al., 2020), no entanto, a geoquímica tradicional tem um alcance limitado, não sendo tão eficiente sobre estruturas profundas tendo apenas uma grande aplicabilidade em jazigos aflorantes ou superficiais.

O presente trabalho remete para um novo método geoquímico patenteado (EXPLORA - A Method For Characterizing Underground Metallic Mineral Deposits Based On Rock Coatings And Fracture Fills, European Patent EP3809133 B1, date 27.04.2022) como resultado da investigação efetuada entre 2016 e 2020 pelo Laboratório Nacional de Energia e

Geologia (LNEG) e o Laboratório Hércules da Universidade de Évora (LH-UÉ), de forma a responder às exigências do programa Alentejo2020, financiador do projeto EXPLORA.

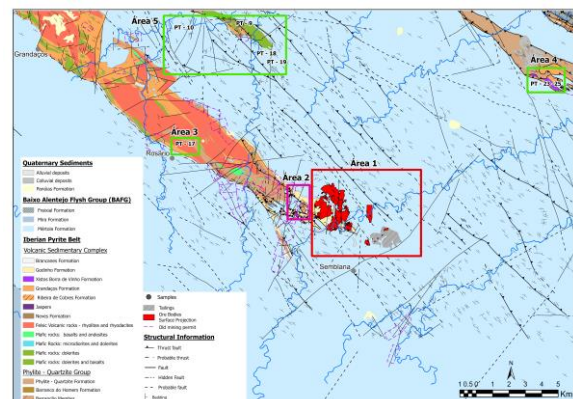


Fig. 1. Mapa geológico da região mineira de Neves-Corvo com a projeção das massas de sulfuretos maciços à superfície. Localização das áreas amostradas em detalhe. Geologia adaptada de Matos et al., 2020.

O novo método tem por objetivo a identificação e caracterização de depósitos VMS localizados a grande profundidade, identificando rotas de ascensão e distribuição de metais em planos anisotrópicos das rochas, após a formação de um determinado depósito mineral. Este método baseia-se no fato de os corpos mineralizados poderem estar afetados por deformação tardia (p.e. falhas e outros planos de fraturação) que potenciam a ascensão de fluidos ricos

em metais podendo os mesmos ser concentrados em minerais de ferro e/ou manganês depositados em patines e/ou no preenchimento de fraturas.

Para este trabalho foram recolhidas várias amostras acima e nas imediações do jazigo de Neves-Corvo. Para zonas de referência (branco) foram recolhidas amostras em setores como Alvares, onde estudos anteriores (cartografia geológica detalhada, geofísica e geoquímica) não revelaram a presença de depósitos de VMS (Fig.1).

As amostras foram recolhidas em diferentes níveis anisotrópicos como falhas, planos de clivagem, fraturas e diaclases. Foram depois seccionadas e produzidas superfícies polidas para estudos de microscopia. A análise química de cada patine foi feita com recurso a um microscópio eletrónico de varrimento de pressão variável com espectroscopia dispersiva de energia (VP-SEM-EDS no LH-UÉ). As amostras de patines foram classificadas em 5 tipos: 1 – Patines compostas por ferro (predominante) e manganês e outros metais associados com as fases de Fe e Mn; 2 - Patines compostas por manganês (predominante) e ferro e outros metais associados com as fases de Fe e Mn; 3 – Patine composta por manganês e outros metais associados com a fase de Mn; 4 – Patine composta por ferro e outros metais associados com a fase de Fe e 5 – Veios de Fe e Mn ligados com a superfície da patine (Fig.2).

As análises químicas demonstram assinaturas geoquímicas distintas. Patines recolhidas sobre ou nas imediações de depósitos VMS, revelaram um enriquecimento em elementos como Zn, Cu, Pb e As enquanto as patines recolhidas em zonas de branco ou em setores distais são constituídas apenas por Fe e/ou Mn sem o enriquecimento em outros elementos (Fig.3). O enriquecimento em Sn apenas ocorre nas imediações das massas Corvo e Graça do jazigo de Neves-Corvo, onde estão reconhecidas mineralizações de cassiterite em profundidade. Este tipo de anomalias não está relacionado com

contaminações ambientais e superficiais associadas à atividade extrativa, podendo a nova metodologia ser definida como uma técnica promissora em prospeção mineral. O LNEG e o LH-UÉ pretendem continuar esta linha de investigação, alargando a mesma a outros cenários da FPI.



Fig. 2. Exemplos de patines na superfície das rochas. Cor negra representa o enriquecimento em Fe e Mn. A) Patine de Fe-Mn em diáclase do Complexo Vulcano Sedimentar; b) Patine de Fe-Mn em clivagem em grauvaque da Formação de Mértola; c) Aspeto de afloramento rico em patines Fe-Mn; d) secção cortada da patine

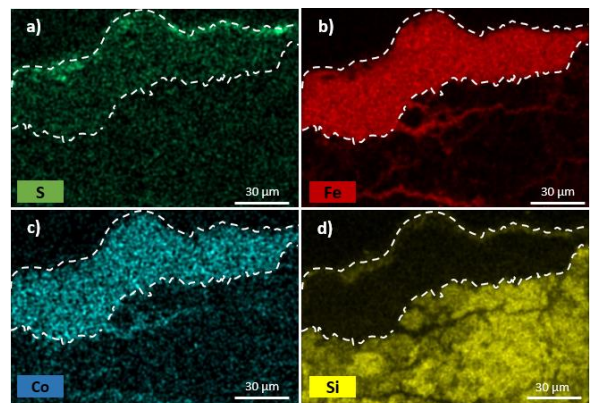


Fig. 3. Mapas de EDS da patine mostrando a concentração de alguns dos elementos analisados

Agradecimentos: Os autores agradecem ao projeto EXPLORA/ALENTEJO2020 (Definição de novos vetores geológicos, geofísicos e geoquímicos na região setentrional de Neves-Corvo), Op ALT20-03- 0145-FEDER-000025, financiada pelo Alentejo 2020, Portugal 2020 e União Europeia.

Referências

- Batista, M.J., Mateus, A., Matos, J.X., Gonçalves, M.A., Figueiras, J., Abreu, M.M & Luz, F. (2020) Geochemical exploration and assessment of environmental impacts in the Portuguese sector of the Iberian Pyrite Belt. *Comunicações Geológicas LNEG*, T. 107, Especial III, 79-90. ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X.
- Matos, J.X., Albardeiro, L., Morais, I., Mendes, M., Pereira, Z., Solá, R., Batista, M.J., Salgueiro, R., Marques, F., Carvalho, J., Inverno, C., Oliveira, D., Oliveira, J.T., Gonçalves, P., Santos, S., Pacheco, N., Araújo, V., Mirão, J. & Rosado, L. (2020a). Carta Geológica e Mineira, Região de Neves-Corvo, Esc. 1/50 000. Proj. EXPLORA/ALENTEJO2020/FEDER, LNEG-Somincor/Lundin Mining-Lab. Hércules/Un. Évora. ISBN: 978-989-675-097-8.

A profusão de granitos anatéticos na Zona Centro Ibérica: modelação das condições de fusão

Anatectic granite profusion in the Central Iberian Zone: modelling of melting conditions

I. Pereira (1), T. Bento dos Santos (2,3), V. Soares (4,5), B. Cotrim (2) e P. Castro (6)

Departamento de Ciências da Terra e Centro de Geociências da Universidade de Coimbra; ines.pereira@dct.uc.pt
 Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa
 DG-FCUL – Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa
 Centro de informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA);
 Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), Universidade dos Açores
 Stema Systems, Houten, Holanda

Summary: In the Central Iberian Zone, the metamorphism during the variscan orogeny evolved from Barrovian conditions during D1, to anatexis during the late stages of D2 and D3. Migmatites in most anatectic complexes lack garnet or cordierite, and yield sillimanite and K-feldspar. This generally indicates that peak metamorphic conditions are not very high, which is at odds with the profusion of S-type granites and diatexites, indicating excess of 40% melt volumes. We test and evaluate the role of pelite geochemistry and of water-saturated melt reactions during these anatectic events.

Key words: anatexis, metatexite, diatexite, water-saturated melting, Variscan orogeny

Palavras-chave: anatexia, metatexito, diatexito, fusão hidratada, orogenia Varisca

Na Zona Centro Ibérica (ZCI), Maciço Ibérico, é profícua a ocorrência de rochas em alto grau metamórfico, migmatitos e granitos de tipo S (Fig. 1), associadas a grandes zonas de cisalhamento, que as colocam em contato com unidades na zona da clorite e biotite (e.g. Pereira *et al.*, 2017). A idade do evento anatético foi recentemente obtida no Complexo Anatético de Figueira de Castelo Rodrigo-Lumbrals (FCR-LAC), por Ferreira *et al.* (2022), com idades U-Pb em zircão de 316.8 ± 2 Ma, semelhantes às dos granitos de tipo S. Apesar de se reconhecer a evolução metamórfica como sendo do tipo bórico Barroviano durante os eventos da D₁ varisca (e.g. Ribeiro *et al.*, 2019), a ausência generalizada, ainda que não total, de granada peritética nos metatexitos e diatexitos tem levado à conceptualização da ocorrência de anatexia, durante o final da D₂ e D₃, a baixas pressões (e.g., García Luis, 1991, P < 0.4 GPa). Os metatexitos são constituídos maioritariamente por biotite, silimanite, rara estauroilite, e feldspato-K, sendo que nos diatexitos a proporção de biotite diminui significativamente, aumentando o feldspato-K (e.g. Ferreira *et al.*, 2022). Muito raramente surge granada (e.g., Ferreira *et al.*, 2014; Bento dos Santos *et al.*, 2021) e/ou cordierite. As condições de pico metamórfico no FRC-LAC foram determinadas em rochas calcossilicatadas, tendo-se obtido T = 761 °C e P = 0.5 GPa (Pereira *et al.*, 2017). Na Faixa Metamórfica Porto-Viseu (PVMB), obtiveram-se condições de pico metamórfico para os metatexitos com estauroilite de T = 769-780 °C e P = 0.77-0.79 GPa (Bento dos Santos *et al.*, 2021). Estes valores de pico térmico são idênticos entre si, indicando que a anatexia ocorreu a temperaturas não muito elevadas e a pressões entre os 0.5 e 0.8 GPa. A profusão de

granitos anatéticos na ZCI (Fig. 1) levanta questões relativas às relações entre as condições de evolução metamórfica e as condições de fusão crustal. O volume de granitos e de diatexitos nos complexos anatéticos aponta para taxas de fusão de ~40%. Estas taxas só são possíveis com condições de pico metamórfico mais elevados e/ou a presença de fluidos durante as reações de fusão, que permitam produzir fundidos a temperaturas mais baixas (Fig. 2a).

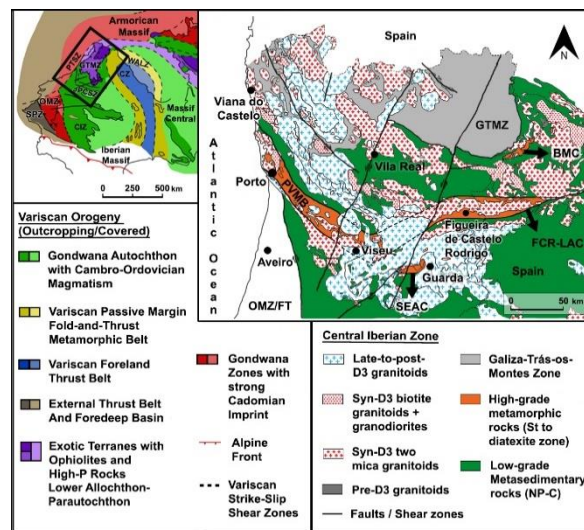


Fig. 1. Mapa geológico simplificado com indicação dos diferentes complexos anatéticos na ZCI (Portugal). PVMB – Faixa Metamórfica Porto-Viseu; FCR-LAC – Complexo anatético de Figueira de Castelo Rodrigo-Lumbrals; SEAC – Complexo anatético da Serra da Estrela; BMC – Complexo Migmatítico de Bemposta.

Apresentamos uma compilação das composições de metapelitos e metagrauwaques da ZCI (Tabela I), comparando-a com composições de grupos de rochas

semelhantes (Forshaw & Pattison, 2023), e utilizamos estas composições na modelação das condições P-T e do volume de fundidos produzidos durante a anatexia. A média dos pelitos da ZCI é semelhante à média mundial para a composição de pelitos (Tabela I), pelo que a ausência de granada ou de outro mineral Fe-Mg durante as reacções prógradadas não se pode justificar por composições exóticas do protólito. Utilizando teores de água em condições de saturação dos metapelitos antes da fusão (Fig. 2a), a modelação indica o início da fusão a partir dos 675-730 °C, para 5 a 8 kbar (Fig. 2b), idêntico às condições de pico térmico anteriormente determinadas (Pereira *et al.*,

2017; Bento dos Santos *et al.*, 2021). As composições de duas granadas num diatexito (PVMB) apresentam uma média de X_{Alm} de 0.75, permitindo constranger a fusão a pressões superiores a 0.5 GPa. Com proporções de granada e/ou cordierite inferiores a 3-4 %vol da rocha, a quantidade de líquido produzido não terá excedido os 10 %vol, um valor muito inferior ao que as observações de campo sugerem. Isto poderá indicar que os migmatitos que dão origem aos granitos tipo S que afloram em muitos destes complexos não estejam ainda exumados, e que esses tenham alcançado condições de pico térmico superiores.

Tabela I. Composições dos pelitos, grauwagues, metatexitos e diatexitos da ZCI em relação ao world average pelite (Forshaw & Pattison, 2023).

	N	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ^T	FeO ^T	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Fe ₂ O ₃ *	FeO*
World Average Pelite	5729	64.13	0.91	19.63		6.85	0.08	2.41	0.65	1.38	3.95	-	-		
CIZ															
Pelite	62	61.86	0.88	18.43	6.51	5.86	0.05	2.10	0.62	1.40	3.84	0.13	3.99	3.68	2.83
Greywacke	18	66.18	0.82	16.19	5.88	5.29	0.10	2.06	0.81	1.49	2.96	0.13	3.12	3.32	2.56
Metatexite	34	63.82	0.82	17.59	5.91	5.32	0.08	1.92	0.68	1.74	4.00	0.20	2.92	3.34	2.57
Diatexite	38	72.10	0.27	14.77	1.55	1.39	0.03	0.40	0.67	3.01	5.09	0.36	1.31	0.87	0.67

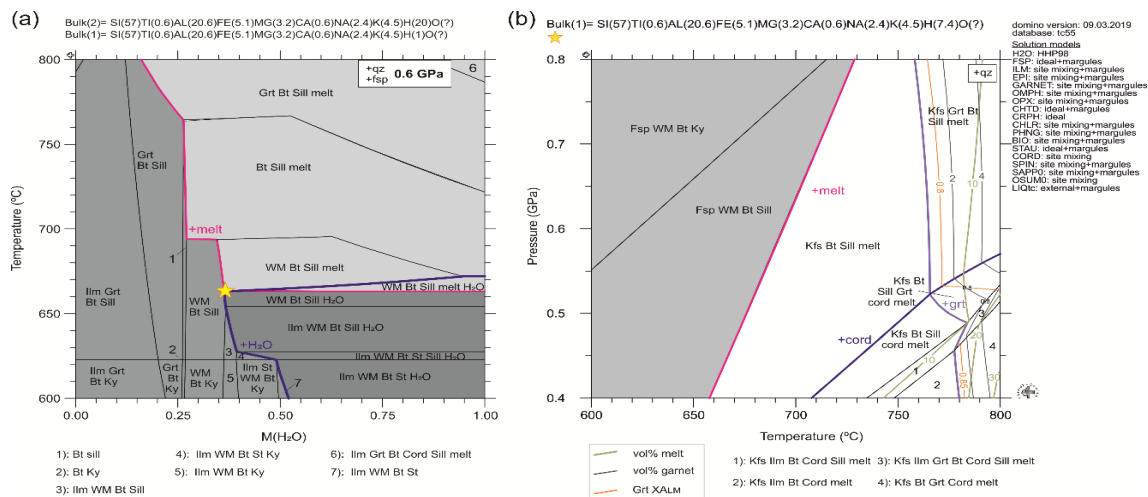


Fig. 2. Outputs da modelação termodinâmica, (a) T-M(H₂O) para definir condições de saturação; (b) pseudosecção, incluindo isopletas de X_{Alm} na granada e % volume de granada peritética e melt. Composições em %mol. Pseudosecções feitas com o Theriak-Domino.

Referências

- Bento dos Santos, T. et al. (2021). Exhumation of an anatectic complex by channel flow and extrusion tectonics: structural and metamorphic evidence from the Porto-Viseu Metamorphic Belt, Central-Iberian Zone. *IJES*, 110, 2179–2201.
- Ferreira, J.A., et al. (2014). Características isotópicas (Sr-Nd) do Granito do Pedregal e rochas migmatíticas associadas. *Comunicações Geológicas*, 104, 147-151.
- Ferreira, J.A., et al. (2022). U-Pb age constraints on the protolith, cooling and exhumation of a Variscan middle crust migmatite complex from the Central Iberian Zone: insights into the Variscan metamorphic evolution and Ediacaran paleogeographic implications. *Journal of the Geological Society*, 179.
- Forshaw, J.B. & Pattison, D.R.M. (2023). Major-element geochemistry of pelites. *Geology*, 51(1), 39-43.
- García Luis, A.I. (1991). Caracterización geoquímica de los leucogranitos de Lumbrales: Influencia de la deformación en el modelo magmático. Definición de dos tendencias e implicación en los procesos petrogenéticos. *Est. Geo.*, 47,13–31.
- Pereira, I., et al. (2017). Exhumation of a migmatite complex along a transpressive shear zone: Inferences from the Variscan Juzbado-Penalva do Castelo Shear Zone (Central Iberian Zone). *Journal of the Geological Society* 174, 1004–1018.
- Ribeiro, M.L. et al. (2019). Variscan Metamorphism. In: Quesada, C. & Oliveira, J. (eds) *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach*. Regional Geology Reviews. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10519-8_12

Magnetic spherules in soils from Regoufe mining area: features and origin

Esférulas magnéticas em solos da área mineira de Regoufe: características e origem

H. Sant'Ovaia (1), C. Cruz (1) and F. Noronha (1)

(1) Instituto de Ciências da Terra-Polo da Universidade do Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal, hsantov@fc.up.pt.

Sumário: Estudos de magnetismo ambiental foram realizados em solos/materiais das escombrelas da área da antiga mina de volfrâmio de Regoufe. O objetivo foi a caracterização do comportamento magnético desses materiais. As amostras mostram diferentes comportamentos magnéticos que resultam da existência de minerais diamagnéticos e paramagnéticos resultantes da meteorização de rochas graníticas, metasedimentares e dos minérios. Contudo, uma fonte antropogénica não pode ser excluída, uma vez que o granito Regoufe, as rochas hospedeiras e os filões não têm magnetite na sua composição mineralógica. A coercividade magnética incomum da população de magnetite, significativamente superior à coercividade média típica da magnetite pedogénica ou detritica, aponta para a existência de magnetite autigénica identificada em esférulas magnéticas encontradas nas proximidades da antiga lavaria que consideramos como resultantes da oxidação do ferro libertado da maquinaria da antiga lavaria e/ou outras instalações mineiras. Estas esférulas magnéticas podem ser consideradas como partículas tecnogénicas.

Palavras-chave: suscetibilidade magnética, magnetização isotérmica remanescente, esférulas magnéticas

Key words: magnetic susceptibility, isothermal remanent magnetization, magnetic spherules

Several authors have used the magnetic characterization of soils as an indicator of the anthropic influence on the environment. In soils the magnetic parameters result from contributions of all soil-forming minerals and depend, particularly, on their ferromagnetic content, especially magnetite, maghemite, and hematite. The soil magnetic response is also disturbed by airborne particles that originated during several anthropogenic activities and that can have a ferromagnetic signal (Evans and Heller, 2003). In this work it was described the application of environmental magnetism techniques, to characterize soils/waste mining tails sampled in the surrounding area of W-Regoufe mine. Mass magnetic susceptibility (χ), frequency-dependent magnetic susceptibility ($\chi_{fd}\%$), and acquired isothermal remanent magnetization (IRM) curves, complemented by scanning electron microscope (SEM) images of the soil magnetic fraction were used to identify the ferromagnetic minerals/particles in 19 samples of the Regoufe mining area. The χ is comprised between 2.82 and $477.20 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, which indicates that besides diamagnetic and paramagnetic minerals, ferromagnetic minerals/particles are present in variable concentrations. The $\chi_{fd}\%$ is relatively low and comprised between 1.21 and 2.48%, indicating a very weak contribution of superparamagnetic particles. Samples' magnetic behavior is dominated by several sources: paramagnetic minerals resulting by granite

and host rocks and ore weathering and ferromagnetic grains, either multidomain and stable single domain. Saturation IRM values are comprised of between 1.69 and $14.71 \times 10^{-2} \text{ Am}^2/\text{kg}$, suggesting that the large variability observed in the values of magnetic susceptibility results from a heterogenous distribution of magnetite among the studied samples. The S-ratio ($\text{IRM}_{300} \text{ mT}/\text{IRM}_{1000} \text{ mT}$) varies between 0.989 and 0.992, indicating that magnetite is the main magnetic carrier of the studied samples. Using the Cumulative Log-Gaussian function analysis (Kruiver et al., 2001) and a Skewed Generalized Gaussian function using the MAXUnMix software (Maxbauer et al., 2016), IRM curves were fitted by using a single component with mean coercivity around 60 mT, typical of a fine-grained magnetite. The mean coercivity of this magnetite population is however significantly higher than the typical mean coercivity of pedogenic or detrital magnetite (20-30 mT, Egli, 2004). For a more exhaustive study of the magnetic mineralogy, the sample with the highest value of magnetic susceptibility ($\chi = 477.2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), located in the immediate vicinity of the old washing plant, was studied in detail. Thus, the magnetic fraction of the mentioned sample was obtained by separation with a Nd magnet and placed on adhesive carbon tape. In this magnetic fraction, Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy (SEM/EDS) observations were performed. SEM microphotographs revealed that

magnetic spherules with several dimensions (between 30 and 300 μm) and different surface morphologies (irregular, dendritic, or smooth surfaces) are present in the magnetic fraction. Chemical composition spectra (EDS spectra) showed that in larger magnetic spherules both pure Fe-containing spherules and a complex mixture of alumino-silicates and Fe-bearing compounds are present (Fig. 1). In conclusion, samples show different magnetic behaviors due to natural sources (minerals resulting from weathering of granitic and metasedimentary rocks and pedogenesis processes).

However, an anthropogenic source cannot be ruled out, since neither the Regoufe granite ($\chi = 1.60 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), nor the host rocks ($\chi = 8.28 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) have magnetite.

The presence of magnetic spherules, pointing to the presence of authigenic magnetite probably resulting from the oxidation of released iron of the old mining washing plant and/or the other mining facilities. Magnetite is concentrated in the magnetic fraction, in the form of magnetic spherules, which given its origin can be considered as technogenic particles (Magiera et al. 2021).

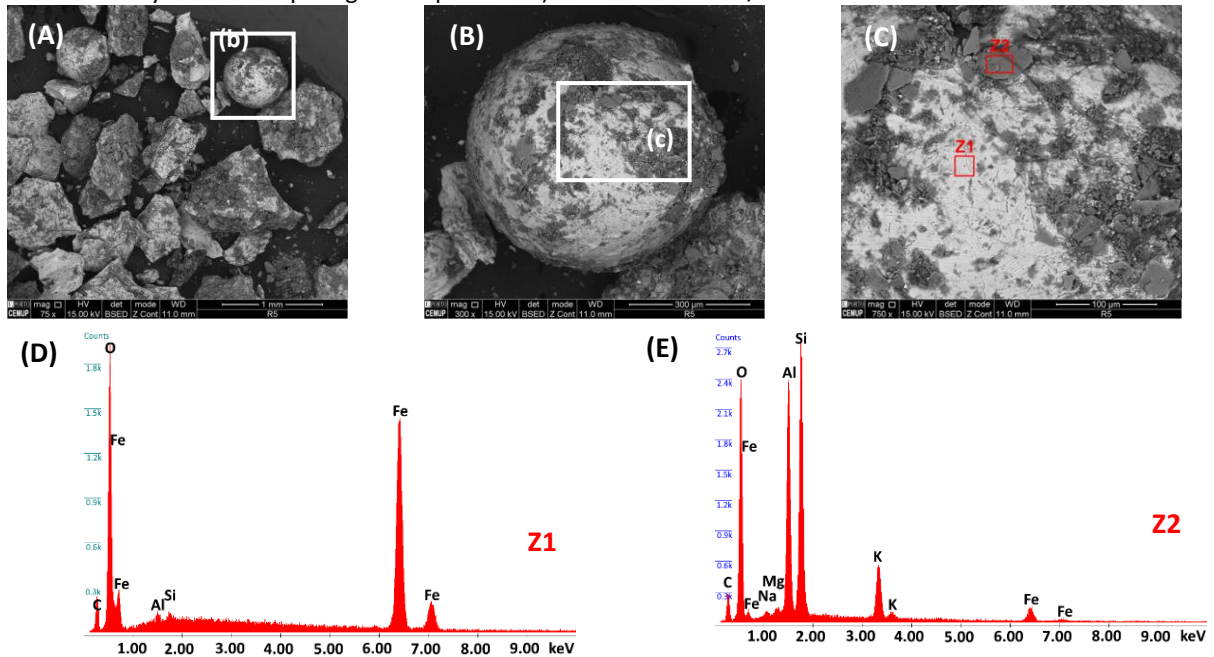


Fig. 1. (A) to (C) SEM image showing the morphological variety of spherical components of the magnetic fraction in the sample located close to the washing plant; (D) and (E) two chemical composition spectra in a massive magnetic spherule in the selected sample.

Acknowledgments: C. Cruz is a contracted researcher under the UIDP/04683/2020 project. Supported by the “SHS: Soil health surrounding former mining areas: characterization, risk analysis, and intervention”, financed by Norte-45-2020-75-Sistema de Apoio à Investigação Científica e Tecnológica: “Projetos Estruturados de I&D,-Horizonte Europa, Ref. NORTE-01-0145-FEDER-000056 and within the ICT activities (UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020). The authors thank Eric Font for the helpful guidance using the laboratory in the FCTUC facilities.

References

- Egli, R. (2004). Characterization of individual rock magnetic components by analysis of remanence curves. Fundamental properties of coercivity distributions. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29, 851–867.
- Evans, M.E. & Heller F. (2003). *Environmental Magnetism — Principles and Applications of Enviromagnetics*. Academic Press, 2003, ISBN 0-12-243851.
- Kruiver, P., Dekkers, M.J. & Heslop, D. (2001). Quantification of magnetic coercivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetization. *Earth and Planetary Science Letters*, 189, 269–276..
- Magiera, T., Górká-Kostrubiec, B., Szumiata, T. & Małgorzata, W. (2021). Technogenic magnetic particles from steel metallurgy and iron mining in topsoil: Indicative characteristic by magnetic parameters and Mössbauer spectra. *Science of the Total Environment*, 775 (2021) 145605.
- Maxbauer, D.P., Feinberg, J.M. & Fox, D.L. (2016). MAX UnMix: A web application for unmixing magnetic coercivity Distributions. *Computers & Geosciences*, 95, 140–145.

Associações entre radioisótopos, mineralogia e carbono orgânico total em fácies ricas em matéria orgânica (Jurássico Inferior, Bacia Lusitânica)

Associations between radioisotopes, mineralogy and total organic carbon in organic-rich facies (Lower Jurassic, Lusitanian Basin)

S.L.R. Sêco (1), G.S. Luís (2), F.P. Domingos (2), A.J.S.C. Pereira (2), L.V. Duarte (3) e F. Rocha (4)

Universidade de Coimbra, IDL e Dep. de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal, osergioseco@gmail.com

Universidade de Coimbra, CITEUC e Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal

Universidade de Coimbra, MARE-ARNET e Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal

Universidade de Aveiro, Geobiotec e Departamento de Geociências, Aveiro, Portugal

Summary: *The Lower Jurassic sedimentary successions of the Lusitanian Basin includes several organic-rich intervals and levels. From the systematic analysis carried out in outcrop studies, gamma-ray spectrometry has shown a significant dispersion of radioisotope concentrations in organic-rich facies. In this study, the principal component analysis and hierarchical clustering of X-ray diffraction, total organic carbon and radioisotope activity data are used to identify relationships among these variables in a total of 35 samples collected in the western margin and intermediate sector of the basin. Based on the multivariate association, groups of organic-rich facies are differentiated.*

Key words: *Organic-rich facies, radioisotopes, mineralogy, principal component analysis, Lusitanian Basin*

Palavras-chave: Fácies ricas em matéria orgânica, radioisótopos, mineralogia, análise de componentes principais, Bacia Lusitânica

As sucessões carbonatadas do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (BL) incluem três principais intervalos ricos em matéria orgânica: as formações de Coimbra [Unidade (U) F], Água de Madeiros [Membro (Mb.) de Polvoeira] e de Vale das Fontes (Membro Margocalcários com níveis betuminosos – MCNB) (e.g. Oliveira et al. 2006; Duarte et al. 2010, 2012, 2022; F. Silva et al., 2010; R. Silva et al. 2011). Estas unidades contêm ainda vários níveis ricos em matéria orgânica, bem descritos em afloramento (referências acima citadas). A espectrometria de raios gama de campo tem mostrado uma importante correlação entre essas fácies ricas em matéria orgânica e valores de carbono orgânico total (COT) (Sêco et al. 2018). No entanto, a distribuição das concentrações de radioisótopos varia, o que estará também relacionado com o conteúdo mineralógico.

Neste estudo investigamos a utilidade da análise de componentes principais (ACP) de dados de difração de raios-X (DRX), atividade de radioisótopos (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K e ^{222}Rn) e COT (dados da bibliografia acima citada) para destacar as associações que resultam da variabilidade dos dados, e posteriormente, através de técnica de “clusterização” dos dados, diferenciar grupos de fácies ricas em matéria orgânica com base em características comuns. Para concretizar estes objetivos, 35 amostras foram selecionadas em seções de referência localizadas na porção ocidental e setor intermédio da bacia, que incluem 19 margas (M) e 16 *black shales* (BS). As amostras foram obtidas nas

unidades litostratigráficas acima referidas (UF, Mb. Polvoeira e MCNB), na Formação (Fm) de Coimbra (UA, UD e UG), na Fm de Vale das Fontes (Membro Margas e calcários com *Uptonia* e *Pentacrinus* e no Membro Margas e calcários Grumosos), Fm de Lemed e na Fm de Cabo Carvoeiro (Membro CC1). A ACP destaca uma associação entre: i) ^{226}Ra , COT, hematite, pirite, gesso e dolomite, ii) ^{40}K , filossilicatos, feldspato-K, ^{232}Th e o quartzo (Fig. 1 A). O ^{226}Ra está associado a ambiente redutor. O ^{40}K e o ^{232}Th estão associados aos materiais argilosos das litofácies. O *clustering* hierárquico, levou à definição de quatro agrupamentos (Fig. 1 B): C1) fácies argilosas com influxo continental, essencialmente potássicas, com as maiores concentrações de filossilicatos, feldspato-K, ^{232}Th e ^{40}K ; C2) fácies mistas e argilosas, concentrações elevadas de ^{232}Th , com plagioclase e, geralmente, baixos conteúdos de COT; C3) fácies ricas em matéria orgânica (os maiores valores de COT), a que se associa maior concentração de ^{226}Ra ; e C4) fácies com menores concentrações de ^{232}Th e ^{40}K , e maiores concentrações de pirite-hematite, gesso e dolomite, incluindo siderite (precipitação do Fe em ambiente redutor). Baseado nos dados da atividade de radioisótopos, mineralogia e COT, este trabalho vem demonstrar a importância da ACP para a interpretação das relações entre as variáveis e na diferenciação de grupos de fácies em níveis e intervalos ricos em matéria orgânica.

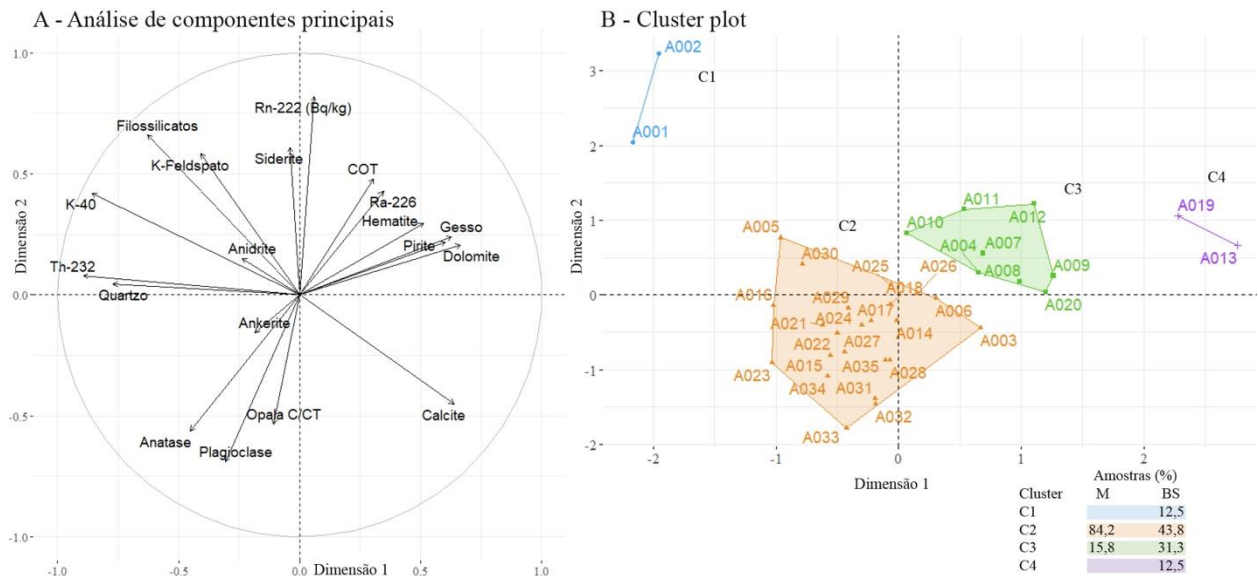


Fig. 1. Resultado da análise de componentes principais (A) e da análise dos clusters hierárquicos (B). Tabela: M-margas; BS-black shales.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Projeto FSE CENTRO-04-3559-FSE-000142, Instituto do Ambiente, Tecnologia e Vida, Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra e ao Laboratório de Raios-X da Universidade de Aveiro (UIDB/04035/2020). Financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC)–UIDB/50019/2020. G.L. agradece o apoio da FCT com fundos nacionais, através da bolsa de doutoramento UI/BD/151293/2021.

Referências

- Duarte, L.V., Silva, R.L., Azerêdo, A.C., Comas-Rengifo, M.J., & Mendonça Filho, J.G. (2022). Shallow-water carbonates of the Coimbra Formation, Lusitanian Basin (Portugal): Contribution to the integrated stratigraphic analysis of the Sinemurian sedimentary successions in the western Iberian Margin. *Comptes Rendus. Géoscience*, 354(S3), 89-106.
- Duarte, L.V., Silva, R.L., Mendonça Filho, J.G., Ribeiro, N.P. & Chagas, R.B.A. (2012). High-resolution stratigraphy, palynofacies and source rock potential of the Água de Madeiros Formation (Lower Jurassic), Lusitanian Basin, Portugal. *Journal of Petroleum Geology*, 35 (2), 105-126.
- Duarte, L.V., Silva, R.L., Oliveira, L.C.V., Comas-Rengifo, M.J. & Silva, F. (2010). Organic-rich facies in the Sinemurian and Pliensbachian of the Lusitanian Basin, Portugal: Total Organic Carbon distribution and relation to transgressive-regressive facies cycles. *Geologica Acta*, 8 (3), 325-340.
- Oliveira, L.C.V, Rodrigues, R., Duarte, L.V., & Lemos, V.B. (2006). Avaliação do potencial gerador de petróleo e interpretação paleoambiental com base em biomarcadores e isótopos estáveis do carbono da seção Pliensbaquiano-Toarciano inferior (Jurássico inferior) da região de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). *Boletim de Geociências da Petrobras*, 14, 2-234.
- Sêco, S.L.R., Duarte, L.V., Pereira, A.J.S.C. & Silva, R.L. (2018). Field gamma-ray patterns and stratigraphic reinterpretation of offshore well-log data from Lower Jurassic organic-rich units of the Lusitanian Basin (Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, 98, 860-872.
- Silva, F., Duarte, L.V., Oliveira, L.C., Rodrigues, R. & Comas-Rengifo, M.J. (2010). Contribution to the knowledge of petroleum generative potential of Late Sinemurian - Pliensbachian of the Lusitanian basin - northern sector (Portugal). In: R. Pena dos Reis, N. Pimentel (eds.), II Central & North Atlantic Conjugate Margins Conference. Extended Abstracts. III, Lisbon, 256-260.
- Silva, R.L., Duarte, L.V., Comas-Rengifo, M.J., Mendonça Filho, J.G. & Azerêdo, A.C. (2011). Update of the carbon and oxygen isotopic records of the early-late plienschbachian (early jurassic, ~187 Ma): insights from the organic-rich hemipelagic series of the Lusitanian Basin (Portugal). *Chem. Geol.*, 283, 177-184.

Petrografia de litologias ferro-manganesíferas associadas ao Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS), Faixa Piritosa Ibérica, Aljustrel

Petrography of Fe-Mn lithologies related to the Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS), Iberian Pyrite Belt, Aljustrel

R. J. Silva (1), I. Morais (2) e E. M. C. Gomes (3)

(1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, ricardojoaohenriquessilva@gmail.com

(2) Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG

(3) Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Departamento de Ciências da Terra

Summary: The Iberian Pyrite Belt (IPB) is one of the largest metallogenic provinces of Volcanogenic Massive Sulfide (VMS) deposits in the world. On top of the massive sulfide mineralizations, exhalite levels are usually formed by jasper, chert and carbonates, related to Fe-Mn-Ba mineralizations. The structure of Maralhas, at the Aljustrel VMS deposit, was studied and the following mineral phases were identified: magnetite, hematite, goethite, pyrolusite and psilomelane. Chemical analyses were performed to complement and validate the mineralogy identified by optical microscopy inspection.

Key words: Iberian Pyrite Belt, Fe-Mn ores, Maralhas structure, pyrolusite, Aljustrel

Palavras-chave: Faixa Piritosa Ibérica, mineralizações Fe-Mn, estrutura de Maralhas, pirolusite, Aljustrel

A Faixa Piritosa Ibérica (FPI) é uma das maiores províncias metalogenéticas de sulfuretos maciços (“Volcanogenic Massive Sulfide” - VMS) do mundo. A sequência estratigráfica da FPI é composta, da base para o topo, por: 1) Grupo Filito-Quartzítico (Grupo FQ); 2) Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS) e 3) Grupo Flysh do Baixo Alentejo (Formações de Mértola, Mira e Brejeira) (Oliveira *et al.*, 2019). Associado ao CVS, nomeadamente a teto das mineralizações de sulfuretos maciços, ocorrem níveis de rochas quimiogénicas (jaspes e chertes) muitas vezes com carbonatos associados, que também surgem noutros níveis estratigráficos do CVS, associados à Fm. Grandaços e Fm. Xistos Borra de Vinho, onde são conhecidas mineralizações de Fe-Mn (Ferragudo e Balança).

Na região mineira de Aljustrel existem ocorrências de Fe-Mn que foram exploradas desde o final do séc XIX a meados do séc. XX, sendo disso exemplo Serra de Feitais, Cerro da Cabeça do Homem, Malpique e Maralhas. Este trabalho pretende contribuir para o conhecimento das mineralizações de Fe-Mn deste setor da FPI, em particular a petrografia das litologias mineralizadas da área de Maralhas.

A estrutura mineralizada de Maralhas é uma estrutura alongada, com direção N30°W, com aproximadamente 400 m de comprimento e 45 m de largura máxima, que ocorre no limite entre rochas vulcânicas félsicas e sedimentos da Fm. Paraíso (Leitão *et al.*, 1998). É constituída, maioritariamente, por chertes e, localmente, por jaspes. As mineralizações ocorrem sob a forma de pequenos

veios e bolsadas, orientados segundo a direção da estrutura.

O trabalho de campo incluiu a cartografia geológica (Fig. 1) e a recolha de 26 amostras (20 de afloramento e 6 de escombreira). Selecionaram-se 9 amostras para estudos petrográficos em microscópio de luz refletida e transmitida Leica DM750P. As 26 amostras foram sujeitas a difração de Raios-X (DRX), em difratómetro AERIS 600W, da Panalytical, e a análises químicas pontuais, em amostras cortadas, com Analisador XRF Hitachi – linha X-MET8000.



Fig. 1. Mapa geológico da estrutura de Maralhas, Aljustrel.

A DRX permitiu identificar as seguintes fases minerais: hematite, magnetite, goethite, pirolusite e pirite. O quartzo está presente em todas as amostras, sendo o principal constituinte da ganga. O estudo microscópico das amostras conduziu à identificação de mineralização de tipo ferrífera (Fe) e de tipo manganesífera (Mn). A primeira inclui, essencialmente, hematite, dispersa na matriz ou em veios e nódulos. Ocorre com frequência como martite, observando-se a substituição da magnetite pela hematite (Fig. 2a). Também ocorre com hábito acicular e, pontualmente, colomórfico. A goethite apresenta-se como mineral de substituição da

hematite. Na mineralização do tipo manganésifera a pirolusite é a fase dominante, sendo, com frequência, substituída por psilomelano (Fig. 2b). A hematite também ocorre no seio de psilomelano, assim como a goethite, como alteração da hematite. A ganga inclui uma primeira geração de quartzo microcristalino, com dimensão média de 15 μm , e uma segunda, tardia, de quartzo a preencher fraturas, com dimensão até 1 mm.

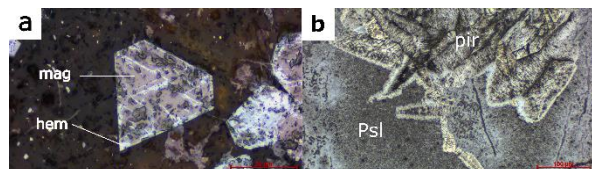


Fig. 2. Microfotografias de: a) Substituição da magnetite (mag) por hematite (hem), PPL, e b) Cristais de pirolusite (pir) com alteração para psilomelano (psl), PPL.

A figura 3 representa uma amostra maciça, com veios mineralizados, onde se registam os pontos onde foram realizadas as análises químicas pontuais e as respectivas proporções percentuais de elementos maiores, expressas em percentagem de óxidos. A mineralização do tipo Mn distingue-se pelos menores teores de SiO_2 (42-46%), maiores teores de MnO (18-35%) e por teores elevados de Fe_2O_3 (5-32%). No ponto 4, com teores de Fe_2O_3 superiores a MnO, a concentração de P_2O_5 e BaO é, respetivamente, 0,15% e 0,17%. A alumina mostra teores de 0,14-0,57% neste tipo de mineralização. No tipo Fe os teores de SiO_2 (66-57%) são intermédios entre os do encaixante e os do tipo Mn, os de Fe_2O_3 elevados (31-40%) e os de MnO baixos (0,03-0,12%). No ponto 6 o teor de Fe_2O_3 é mais elevado e apresenta 0,76% de P_2O_5 , enquanto no ponto 5 o teor de P_2O_5 é de 0,15%.

Neste último ponto a concentração de Al_2O_3 é de 0,30.

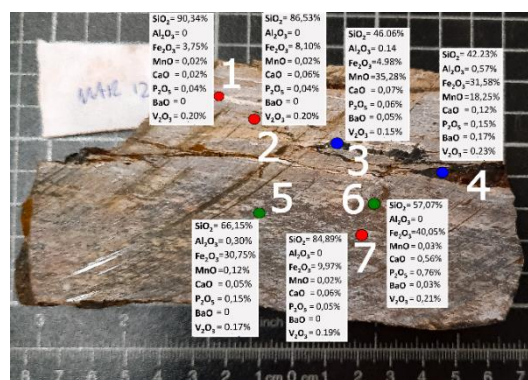


Fig. 3. Amostra cortada e utilizada para análise química pontual, por FRX. (Pontos: vermelho - encaixante, azul - mineralização manganésifera, -tipo Mn, verde - mineralização ferrífera – tipo Fe).

As concentrações de Fe_2O_3 nas zonas manganésiferas refletem a presença de hematite e goethite neste tipo de mineralização. Os teores de Al_2O_3 observados podem resultar da presença de filossilicatos matriciais, e/ou da incorporação de Al na estrutura da goethite (Alvarez et al., 2007), enquanto os de P_2O_5 podem resultar de fósforo adsorvido (Acharya et al., 1997). Os teores de BaO podem ser atribuídos à pirolusite e/ou psilomelano (Santos, 2020). O vanádio, com concentrações de 0,17 a 0,23%, pode substituir Fe na magnetite e na goethite (Alvarez et al., 2007).

Estes resultados preliminares permitem colocar como hipótese uma sequência paragenética caracterizada por três estádios: um estágio inicial, com magnetite+hematite, um estágio tardio com pirolusite, e um estágio secundário, com goethite+psilomelano.

Agradecimentos: Ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia, de Aljustrel, pelo apoio no trabalho de campo, na preparação das amostras e na realização das análises químicas. Ao Sr. Carlos, técnico responsável pelo Laboratório de Raios X do Departamento de Ciências da Terra, pela obtenção dos difratogramas de Raios X.

Referências

- Acharya, B. C., Rao, D. S. & Sahoo, R. K. (1997). Mineralogy, chemistry and genesis of Nishikhal manganese ores of South Orissa, India. *Mineralium Deposita*, 32, 79-93.
- Alvarez, M., Rueda, E. H. & Sileo, E. E. (2007). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, 1009-1020.
- Leitão, J. (1998). Geologia dos depósitos de sulfuretos maciços de Aljustrel. *Liv.-Guia V Cong. Nac. Geologia*, IGM, 91-100.
- Oliveira, J. T., Quesada, C., Pereira, Z., Matos, J.X., Solá, A.R., Rosa, D., Albardeiro L., Díez- Montes, A., Morais, I., Inverno, C., Rosa, C. & Relvas, J. (2019). South Portuguese Terrane: A continental affinity exotic unit. In: C. Quesada & J. T. Oliveira (eds.). *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach, Regional Geology Reviews*, vol. 2. Springer-Verlag, 173-206.
- Santos, R. (2020). Caracterização Mineralógica, Petrográfica e Geoquímica das Mineralizações Ferro-Manganésíferas da Toca do Mocho/ Serra da Mina (Faixa Piritosa Ibérica). Tese de Mestrado. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Novos dados U-Pb em zircão do Maciço de Évora e correlação com as unidades basais da Zona de Galiza-Trás-os-Montes

New U-Pb zircon data from the Évora Massif and correlation to the Galiza-Trás-os-Montes Zone basal units

A. R. Solá (1), M. Chichorro (2), P. Cachapuz (3) e T. Bento dos Santos (3, 4)

(1) LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, rita.sola@lneg.pt

(2) FCT-UNL - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

(3) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal

(4) DG-FCUL – Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal

Summary: We present new U-Pb zircon data from the Évora Massif (SW Ossa–Morena Zone). *Série Negra paragneiss of Escoural Fm. yields a maximum depositional age of ~580 Ma. Felsic orthogneiss “leptinites” included in Escoural Fm., commonly attributed to the Precambrian, yield a concordant age of 513 ± 3 Ma. Felsic volcanics interbedded in the Monfurado Fm. and the Safira Orthogneiss show very discordant zircon ages and two systematic populations at ~510 Ma and ~460 Ma. Given the stratigraphic constraint of Monfurado Fm., both magmatic rocks are considered coeval and emplaced at ~510 Ma during the main rift-related magmatism. The ~460 Ma age is not fully understood yet. Given the differences in the ages of magmatism in the Évora Massif, recently correlated with the Lower Allochthon of Galiza-Trás-os-Montes Zone, where only late rift-related magmatism is recorded, we suggest that they represent different sedimentary basins positioned in the same paleogeographic contexts.*

Key words: Ossa-Morena Zone, magmatism, rifting, Galiza-Trás-os-Montes Zone

Palavras-chave: Zona de Ossa-Morena, magmatismo, rifting, Zona de Galiza-Trás-os-Montes

Recentemente, novas propostas da zonalidade do Maciço Ibérico têm sido avançadas por diversos autores, nomeadamente a correlação das unidades alóctones inferiores da zona da Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM) com o SW da Zona de Ossa-Morena (ZOM) com base em afinidades geoquímicas, metamórficas, estruturais e isotópicas (e.g., Díez Fernández et al., 2017).

No contexto do Maciço Ibérico é importante assinalar que o registo do magmatismo do Paleozoico inferior é diacrónico no espaço. Na ZOM, a expressão do magmatismo relacionada com o rifting é mais precoce, tendo-se iniciado na base do Câmbrio Inferior (~530 Ma; Chichorro et al., 2008; Sánchez-García et al., 2019), i.e. cerca de 30 a 40 Ma antes do que na ZGTM, cujas primeiras manifestações ocorreram em torno dos ~500-490 Ma.

Neste trabalho são apresentados dados geocronológicos preliminares (U-Pb em zircão, SHRIMP) obtidos para o Maciço de Évora, localizado no extremo SW da ZOM, próximo do contacto com a Zona Sul-Portuguesa, como forma de contribuir para a cronoestratigrafia de um sector afectado por elevados gradientes de deformação e de grau metamórfico. O objecto de estudo combina rochas miloníticas metaígneas, interpretadas como testemunhos das primeiras fases de “rifting” da margem continental do Gondwana e o seu encaixante

xistente assumido, com alguma incerteza associada, como representante da Série Negra (Ediacárico).

Duas amostras, MTN-9 (paragneiss) e MTN-7 (granulito félsico) foram colhidas na designada Fm. Escoural atribuída ao Precâmbrico (Carvalhosa & Zbyszewski, 1994), próximo da área onde afloram as rochas eclogíticas e imediatamente a N da Formação de Monfurado, onde ocorre o ortogneiss granítico de Safira (GDW-15), o qual também foi integrado neste estudo. A amostra MTN-7 corresponde ao encaixante dos eclogitos de Safira. No prolongamento do ortogneiss de Safira para SE, na região do Escoural, este dá lugar a milonitos félsicos texturalmente de granularidade mais fina (“leptinites” do Escoural”) que afloram associados a níveis centimétricos a métricos de rochas calcosilicatadas. Estes metavulcanitos félsicos fazem parte do Complexo vulcano-sedimentar carbonatado do Monfurado (Chichorro et al., 2008) e uma amostra foi incluída neste estudo (GDW-13).

A idade concordante da população de zircão mais jovem do paragneiss da Série Negra (MTN-9) é de ~580 Ma, sendo considerada a idade máxima de deposição. No entanto, no paragneiss há heranças de zircões de idades mais antigas, típicas da assinatura da Série Negra datadas noutros locais (e.g., Chichorro et al., 2022 e ref. inclusas).

A idade U-Pb obtida nos zircões do granulito félsico (MTN-7) representados na carta geológica como ortognaisse da Fm. do Escoural (Carvalhosa & Zbyszewski, 1994) foi de 513 ± 3 Ma ($n=18/22$). Não foram detetadas idades herdadas nem sobre-crescimentos metamórficos nos zircões. Esta idade é correlacionável com o evento magmático principal associado ao rift (*Main rift-related igneous event*; Chichorro et al., 2008).

Do ponto de vista cartográfico e tectono-estratigráfico, esta idade é fundamental pois, correlacionando-a com outras idades obtidas, permite enquadrar no tempo a faixa Safira-Quinta da Torre-Terra das Freiras, cujo magmatismo félsico se posiciona precisamente na base dos anfíbolitos e xistos da Fm de Carvalhal (Carvalhosa & Zbyszewski, 1994). De facto, mais a SE foi obtida uma idade de 516.8 ± 5.5 Ma também num ortognaisse félsico da Fm. Escoural no mesmo contexto tectonoestratigráfico (amostra ESC 101; Chichorro et al., 2008).

Os zircões do ortognaisse granítico de Safira (GDW-15) e das vulcânicas félsicas do Monfurado (GDW-13) mostram idades muito discordantes e duas populações sistemáticas em torno dos ~ 510 Ma e ~ 460 Ma. Dado o constrangimento estratigráfico da Fm. de Monfurado, com rochas carbonatadas, a idade Câmbrica de ~ 510 Ma é mais plausível como idade de cristalização de ambas as amostras. O ortognaisse de Safira, é aqui interpretado como sendo o equivalente plutónico das fácies sub-intrusivas e vulcânicas da Fm. de Monfurado. O significado geológico da

população de zircão em torno dos ~ 460 Ma, ainda não é totalmente compreendida à luz do que se conhece no SW da ZOM, podendo corresponder a uma perturbação isotópica relacionada com perda de Th e Pb por efeito do metamorfismo varisco de alta temperatura que se descreve para o Maciço de Évora. Alternativamente, e uma vez que estão descritos na região alguns crescimentos metamórficos em zircão com essa idade, poder-se-á presumir o efeito de um evento térmico local indutor de fusão parcial localizada, tal como foi sugerido por Cordani et al. (2006).

As idades para o magmatismo félsico aqui apresentadas, vêm reforçar as diferenças com o suposto terreno equivalente correspondente às unidades alóctones inferiores da ZGTM. Com efeito, na ZGTM não existem até ao momento testemunhos de magmatismo de rift no Câmbrico inferior-médio tal como sucede na Faixa metamórfica Évora-Aracena, estando apenas descritos eventos magmáticos de rift, mas mais tardios (~ 500 - 490 Ma), aos quais se associam dados isotópicos de Nd distintos das formações Ediacáricas subjacentes. As unidades inferiores alóctones da ZGTM e os terrenos Ediacáricos de Évora (com idades modelo respectivas de TDM= 1.82-2.15 Ga e TDM= 1.50-1.80; Díez Fernández et al., 2017) representam bacias sedimentares distintas, que embora desenvolvidas no mesmo contexto de um back-arc cadomiano, nunca poderão representar a mesma porção supra-crustal.

Agradecimentos: Este trabalho é uma contribuição do projeto GONDWANA (PTDC/CTE-GIX/110426/2009). A. R. Solá agradece a Pilar Montero (IBERSIMS) o apoio analítico na aquisição dos dados, assim como financiamento através da bolsa SFRH/BPD/69864/2010.

Referências

- Carvalhosa, A. & Zbyszewski, G. (1994). Carta Geológica de Portugal, Folha 35-D (Montemor-o-Novo), escala 1:50000. Instituto Geológico e Mineiro.
- Chichorro, M. et al. (2008). Cambrian ensialic rift-related magmatism in the Ossa-Morena Zone (Évora-Aracena metamorphic belt, SW Iberian Massif): Sm-Nd isotopes and SHRIMP zircon U-Th-Pb geochronology. *Tectonophysics*, 461, 91-113.
- Chichorro, M. et al. (2022). Cadomian/Pan-African consolidation of the Iberian Massif assessed by its detrital and inherited zircon populations: is the ~ 610 Ma age peak a persistent Cadomian magmatic inheritance or the key to unravel its Pan-African basement? *Geologica Acta*, 20.15, 1-29.
- Cordani, U. G. et al. (2006). New U-Pb SHRIMP zircon ages for pre-variscan orthogneisses from Portugal and their bearing on the evolution of the Ossa-Morena Tectonic Zone. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 78, 133-149.
- Díez Fernández, R. et al. (2017). Geochemistry and tectonostratigraphy of the basal allochthonous units of SW Iberia (Évora Massif, Portugal): keys to the reconstruction of pre-Pangean paleogeography in southern Europe. *Lithos*, 268, 285-301.

Caracterização Gemológica de Safira Preenchida com Vidro de Cobalto e análise de aspetos discriminatórios usando FTIR

Gemological Characterization of Cobalt Glass-Filled Sapphire and differentiating aspects analysis using FTIR

A. Soares de Sousa (1), M. García-Vallès (2) e E. Gomes (3)

(1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, antsoaressousa@sapo.pt

(2) Universidade de Barcelona, Departamento de Mineralogia, Petrologia e Geologia Aplicada

(3) Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (CITEUC), Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra

Summary: *In this study, gemmological characterization of a cobalt (Co) glass-filled sapphire is made using standard gemmological methods and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. The sample is a sapphire from the mineral collection of the Earth Sciences Faculty of the University of Barcelona. The gemmological characteristics were consistent with those of the sapphire and the presence of Co glass was confirmed. The study highlights the importance of microscopic analysis and FTIR spectroscopy in the detection of these treatments and provides a reference for future studies.*

Key words: *sapphire, treatment, cobalt glass, gemmology, FTIR*

Palavras-chave: safira, tratamento, vidro de cobalto, gemologia, FTIR

As safiras são minerais muito valorizados pela sua beleza, raridade e durabilidade. No entanto, muitas vezes são submetidas a tratamentos para melhorar as suas características e aumentar o seu valor. Um desses tratamentos é o preenchimento com vidro de cobalto (Co), no qual fissuras são preenchidas com o objetivo de melhorar a transparência e cor do exemplar. Por este motivo, torna-se muito importante a identificação destes tratamentos. Neste estudo é realizada a caracterização de uma safira tratada com vidro de Co, recorrendo a métodos gemológicos, incluindo espectroscopia de Infravermelhos por Transformada de Fourier (FTIR), podendo os resultados ser utilizados em estudos futuros.

A amostra pertence à coleção da Faculdade de Ciências da Terra da Universidade de Barcelona. É uma safira de 5,119 ct, azul escura, facetada com corte oval misto e submetida a um preenchimento com vidro de Co (fig.1). Foram usados instrumentos gemológicos para medir as propriedades da amostra, e os aspetos internos e externos foram observados com um microscópio gemológico Motic GM-171. Foi utilizado um espectrómetro PerkinElmer FTIR Spectrometer para obter o espectro de absorção de infravermelhos entre os 400 e 4000 cm^{-1} . Os dados foram analisados através do software PerkinElmer Spectrum.

As propriedades gemológicas mostraram-se consistentes com as da safira (Deer et al., 2013), no entanto, com algumas exceções. A amostra

apresentou índices de refração de 1,765-1,773 e peso específico de 4,08. Estes valores são ligeiramente elevados e originados pelo vidro de Co. O dicroísmo mostrou-se fraco, podendo estar relacionado com a isotropia do vidro. Sob luz UV de 365 nm apresentou fluorescência de cor vermelha alaranjada. A fluorescência, que normalmente não é observada nas safiras de cor azul, é característica de safiras preenchidas com vidro de Co (Leelawatanasuk et al., 2013, 2015). O espectro de absorção visível mostrou bandas entre 500-565, 580-600 e 630-660 nm, típicas do vidro de Co (McClure et al., 2010), e uma linha de absorção aos 450 nm, correspondendo ao ferro da safira.

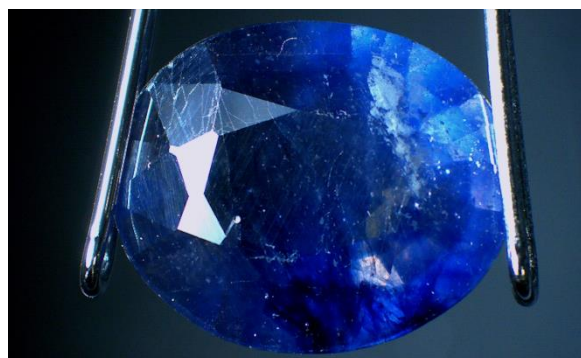


Fig. 1. Safira preenchida com vidro de Co com uma massa de 5,119 ct. Iluminação direta, 3,75X. Microfotografia: A. Soares de Sousa.

A análise microscópica foi decisiva na caracterização da amostra. Externamente apresentou muitas fissuras, que exibiram diferenças no brilho e relevo,

relativamente à restante superfície da amostra. Estas diferenças devem-se à menor dureza do vidro. Internamente apresentou um aspeto turvo, devido às fissuras preenchidas com vidro, zonas de concentração de cor azul e bolhas de gás (fig.2). Observou-se também um efeito iridescente nas fissuras, provocado pelo vidro (Leelawatanasuk et al., 2013, 2015).

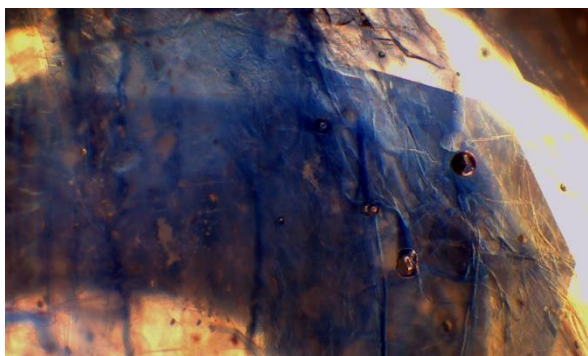


Fig. 2. Fissuras preenchidas com vidro azul e bolhas de gás. Iluminação de campo escuro, 15X. Microfotografia: A. Soares de Sousa.

No espectro FTIR as bandas de absorção aos 2250, 2600 e 3300 cm^{-1} , mostraram-se típicas de corindo preenchido com vidro. Segundo Serov (2012), a banda aos 3300 cm^{-1} , deve-se à absorção das moléculas de água. Já as bandas aos 2300 e 2600 cm^{-1} estão relacionadas com vibrações de Si-OH. A intensidade das bandas é proporcional à quantidade de vidro na amostra. Na fig.3 mostra-se o espectro, com os picos característicos identificados. Adicionalmente, apresenta-se o espectro de um rubi preenchido com vidro de chumbo (Pb) e de uma safira natural não tratada. É possível observar a presença das mesmas bandas de absorção no rubi. Na

safira não tratada, não se observam as bandas correspondentes às vibrações de Si-OH. A presença destas bandas mostra-se um indicador deste tratamento.

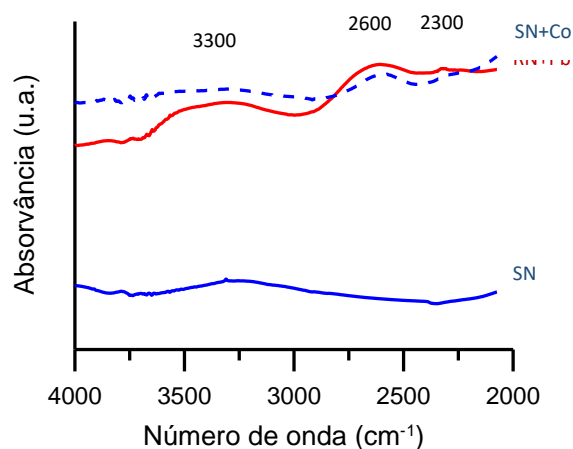


Fig. 3. Espectros da safira (SN+Co) e do rubi (RN+Pb), tratados com vidro, onde é possível observar a influência do preenchimento através das bandas de absorção aos 2300, 2600 e 3300 cm^{-1} . No espectro da safira natural (SN), não são observadas as bandas aos 2300 e 2600 cm^{-1} .

As propriedades da amostra apresentaram resultados consistentes com safira preenchida com vidro de Co. A amostra apresentou índices de refração e peso específico ligeiramente elevados, dicroísmo fraco e fluorescência. Os espectros de absorção na região visível e FTIR apresentaram-se característicos de vidro de Co. A análise microscópica revelou fissuras preenchidas com vidro e efeito iridescente. Os resultados deste estudo poderão servir como referência para estudos futuros sobre safiras submetidas ao mesmo tratamento.

Agradecimentos: A todos os docentes e não docentes da Faculdade de Ciências da Terra da Universidade de Barcelona pelo apoio e recursos disponibilizados durante a realização deste trabalho. À Professora Doutora Maite García-Vallès e à Professora Doutora Elsa Gomes pela orientação e apoio. Este trabalho não teria sido possível sem as suas contribuições valiosas.

Referências

- Deer, W. A., Howie, R. & Zussman, J. (2013). Corundum $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. An Introduction to the Rock-Forming Minerals. 3. ed. Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, 384–386.
- Menges, F. (2022). Spectragryph - optical spectroscopy software, Version 1.2.16.1. <http://www.effemm2.de/spectragryph/>
- Leelawatanasuk, T., Atitchat, W., Pisutha-Arnond, V., Wattanakul, P., Ounorn, P., Manorotkul, W. & Hughes, R. W. (2013). Cobalt-doped glass-filled sapphires: An update. The Australian Gemmologist, 25, 14-20.
- Leelawatanasuk, T., Susawee, N., Promwongnan, S & Atsawatanapirom, N. (2015). - Green Lead-Glass-Filled Sapphires. The Journal of Gemmology, 34, 420–427.
- McClure, S. F., Kane, R. E. & Sturman, N. (2010). Gemstone Enhancement and Its Detection in the 2000s. Gems & Gemology, 46.
- Serov, R. (2012). FTIR Spectroscopy of Glass-filled Rubies. <https://www.gem-center.ru/data/file/FTIR%20spectroscopy%20of%20glass-filled%20rubies%20-%20R%20Serov%20GIT2012.pdf>

Mineralogia e petrologia dos granitos variscos sin-D₃ da região de Santa Comba de Rossas, norte de Portugal

Mineralogy and petrology of syn-D₃ Variscan granites from Santa Comba de Rossas region, northern Portugal

R.J.S. Teixeira (1), M.E.P. Gomes (1), P.B. Silva (2) e C.A.P. Meireles (2)

(1) Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) e Pólo da UTAD do CGeo – Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real, mgomes@utad.pt

(2) Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Rua da Amieira, Apartado 1089, 4466-901 S. Mamede de Infesta

Summary: *In the Santa Comba de Rossas - Paredes area, a granitic complex (G1-G3) was emplaced during the syn-kinematic stages of the Variscan Orogeny, at 317.9 ± 8.7 Ma, as determined by whole rock Rb-Sr dating. The complex intruded Silurian metasediments, from the Parautochthonous Domain of Galicia – Trás-os-Montes Zone, in a NW-SE trending antiform formed during the D₁ and D₃ deformation phases, but was itself affected by ductile and brittle deformation. Geochemical and isotopic characteristics suggest that the biotite > muscovite granite G1 and the biotite ≈ muscovite granite G2 correspond to distinct pulses of magma formed by partial melting of metasedimentary materials that subsequently evolved by fractional crystallization. This process was responsible for the increase in Sn content in those granites and, most probably, for the occurrence of the exocontact muscovite granite G3, which is the richest in Sn (77 ppm), due to a higher degree of fractional crystallization.*

Key words: *S-type granites, Rb-Sr dating, fractional crystallization, tin, Portugal*

Palavras-chave: Granitos do tipo S, datação Rb-Sr, cristalização fraccionada, estanho, Portugal

Os granitos da região de Santa Comba de Rossas - Paredes, Bragança, intruíram metassedimentos da Formação Pelito-Grauváquica, de idade silúrica superior, instalando-se no núcleo de uma antiforma WNW-ENE (Parada - Pombares) pertencente ao Complexo de Mantos Parautóctones (Zona da Galiza – Trás-os-Montes) (Pereira, 2006). Com base na cartografia publicada (Pereira, 2000) e nos dados petrográficos distinguem-se dois granitos principais: G1- Granito de grão médio, porfiróide, biotítico > moscovítico; G2- Granito de grão médio a grosseiro, levemente porfiróide, com moscovite ≈ biotite, sendo o contacto entre ambos gradacional. No exocontacto do plutão granítico ocorre um granito de grão fino, moscovítico (G3). Os granitos são constituídos por quartzo, plagioclase, microclina (micropertítica no caso dos granitos G1 e G2), moscovite, zircão, apatite, monazite e ilmenite. Os granitos G1 e G2 contêm ainda biotite e monazite e os granitos G1 e G3 apresentam também turmalina. Nos granitos G1 e G2 a composição da plagioclase varia de albite a oligoclase (1 – 28 moles % An), enquanto no granito G3 corresponde a albite (0 – 1 moles % An). No granito G1 o teor de anortite da plagioclase da matriz (3 – 23 moles % An) é menor do que o da plagioclase do fenocristal respectivo (14 – 28 moles % An) e a microclina da matriz apresenta teores de BaO inferiores (0,00 – 0,06 % peso) aos da microclina dos fenocristais respectivos (0,02 – 0,53 % peso). Os

cristais de plagioclase de maiores dimensões do granito G1 apresentam frequentemente zonamento oscilatório. A biotite é ferrífera e pertence às séries alumino-potássicas.

Os granitos apresentam evidências de deformação no estado sólido, em regime dúctil-frágil, que terá proporcionado a reorientação do quartzo, evidenciada pela extinção ondulante e/ou subgranulação intensa, extinção ondulante e encurvamento dos planos de clivagem das micas e a microfracturação de feldspato e de cristais de quartzo. Nos feldspatos, algumas destas microfracturas estão preenchidas com quartzo, apontando para uma deformação no estado sub-magmático. Nas amostras mais deformadas há desenvolvimento incipiente de estruturas sigmoidais e, por vezes, de estruturas C-S bem definidas com direcção N40-60°W.

Os granitos são peraluminosos, com ASI = 1,22 – 1,42 e corindo normativo entre 2,32 – 4,32 %. A maioria dos granitos projecta-se no campo dos granitos fortemente diferenciados, ou próximo dele, no diagrama Rb-Sr-Ba. Os seus perfis de terras raras são enriquecidos em LREE em relação às HREE e apresentam anomalia negativa de Eu.

Os diagramas de Harker com variação de elementos maiores, menores e quocientes de elementos sugerem a existência de dois pulsos magmáticos independentes (G1 e G2), facto que é apoiado pela

ocorrência de intercepções, nas terras raras médias, entre os perfis dos granitos, com razões Tb_N/Yb_N bem distintas (G1- 3,21 a 3,74 e G2- 1,50 a 2,00). Os mesmos dados apoiam a evolução desses magmas por cristalização fraccionada, verificando-se que, em cada granito, os perfis de REE raras são sub-paralelos e apresentam um decréscimo geral em todas as REE. Foram obtidos dados isotópicos Rb-Sr para amostras seleccionadas dos granitos G1 (4) e G2 (2), seguindo-se a metodologia de Pin & Bassin (1992). Para o granito G1, obteve-se uma isócrona de 317.9 ± 8.7 Ma, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0,7123 \pm 0,0008$ e $MSWD = 0,98$. Os valores médios de $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ para os granitos G1 e G2 são, respectivamente, $0,7123 \pm 0,0005$ e $0,7181 \pm 0,0007$. Atendendo ao enquadramento estrutural e à idade obtida, verifica-se que os granitos G1 e G2 pertencerão ao grupo dos granitóides sin-D₃ do tipo S (320 – 310 Ma; Azevedo & Valle Aguado, 2006). A idade obtida aproxima-se da idade de 320 Ma proposta pelas mesmas autoras para o início da fase de deformação varisca D₃ na Zona Centro Ibérica, particularmente no norte de Portugal, justificando-se assim as texturas que evidenciam uma deformação dúctil a frágil, típicas dos estados tardi-magmático e sólido.

Os granitos da região de Santa Comba de Rossas são considerados estaníferos, pois possuem teores médios de Sn superiores a 18 – 26 ppm (Lehmann, 1990): G1- 25 ppm; G2- 24 ppm; G3- 77 ppm. Embora os dados obtidos neste estudo preliminar não permitam esclarecer qual é a afiliação genética do

magma granítico G3, verifica-se que, dos granitos G1 e G2 para o granito G3, os teores em Sn aumentam com o aumento em Rb/Sr (Fig. 1) e diminuem com o aumento em TiO_2 e Fe_2O_{3t} , colocando em evidência o papel exercido por processos de cristalização fraccionada no enriquecimento em Sn do granito do exocontacto de Paredes, o que é consistente com o estudo efectuado por Dias (2019) no jazigo filoniano existente nessa área.

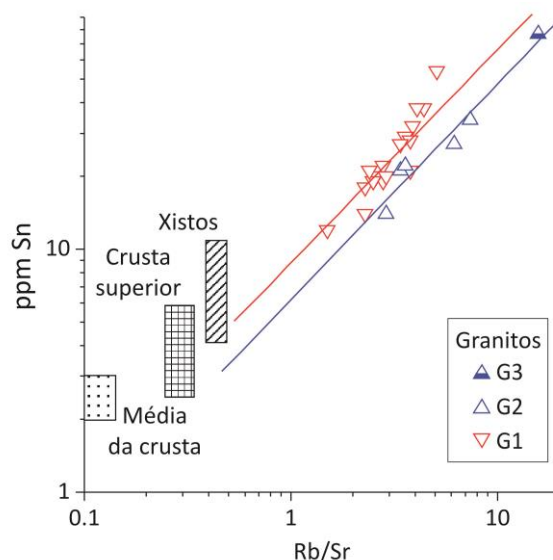


Fig. 1. Diagrama log Sn versus log Rb/Sr (Lehmann, 1990) com a representação dos granitos G1, G2 e G3.

Agradecimentos: Este estudo foi apoiado por fundos portugueses da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. no âmbito dos projetos UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020 da unidade de I&D do Centro de Geociências (CGeo). À Professora Ana Margarida R. Neiva e ao Professor J. M. Cotelo Neiva (*in memoriam*) pelo incentivo e apoio para iniciar o estudo desta área.

Referências

- Azevedo, M. R. & Valle Aguado B. (2006). Origem e instalação de granitóides variscos na Zona Centro-Ibérica. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. & Kullberg, J. (eds.). Geologia de Portugal no contexto da Ibéria. Universidade de Évora. 107-121.
- Dias, M.A. (2019). Factores que condicionam o enriquecimento em Sn nos diversos granitos greisenizados da área de prospecção e pesquisa de Argozelo. Tese de mestrado, Universidade de Lisboa, 132 pp.
- Lehmann, B. (1990). Metallogeny of tin. Lectures notes in Earth Sciences, 32. Springer-Verlag.
- Pereira, E. (coordenador geral) (2000). Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000 (Folha 2). Instituto Geológico e Mineiro.
- Pereira, E. (coordenação de) (2006). Notícia explicativa da Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação.
- Pin, C. & Bassin C. (1992). Evaluation of a strontium-specific extraction chromatographic method for isotopic analysis in geological materials. *Analytica Chimica Acta*, 269, 249-255.

SESSÃO CIENTÍFICA 2 (SC_2)
(Geomorfologia)

Conveners: Pedro Cunha; Paulo Pereira; Ricardo Ramalho

Unidades morfosedimentares do baixo curso do rio Piranhas-Açu, Rio Grande do Norte (Brasil)

Morphosedimentary units of the lower Piranhas-Açu river, Rio Grande do Norte (Brazil)

P. Í. C. Aderaldo (1), A. Perez Filho (1) e P. P. Cunha (2)

(1) Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP; Instituto de Geociências; pedroitalo@ige.unicamp.br

(2) Universidade de Coimbra; MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente / ARNET – Rede de Investigação Aquática; Departamento de Ciências da Terra

Summary: *The study of the outcropping morphosedimentary Quaternary units of the lower Piranhas-Açu river area allows the interpretation of the coastal evolution: 1) the Barreiras Formation documents a very important siliciclastic influx, in a deltaic system, probably during the Pliocene; 2) the Pleistocene is represented by a fluvial terrace; 3) the Holocene a river terrace and two marine terraces, also by modern sedimentation (barrier islands-lagoon). The ~6 ka marine terrace corresponds to a high eustatic level; the ~2 ka marine terrace corresponds to deposition during a more humid period, in the interval between the events Bond 2 and 1.*

Key words: *Morphosedimentary units, barrier islands-lagoon, terraces, lower Piranhas-Açu river, Quaternary*

Palavras-chave: Unidades morfosedimentares, ilhas barreiras-laguna, terraços, baixo curso do rio Piranhas-Açu, Quaternário

A área costeira da foz do rio Piranhas-Açu, corresponde a um sistema de ilhas barreiras – laguna. Tem clima semiárido com período chuvoso de 4-5 meses, regime de micro e mesomare, energia mista (dominada por ondas e marés) e deriva litoral de areia, no sentido E-O, com 20-105 cm/s (Vital, 2009; Pfaltzgraff, 2010).

Neste trabalho identificam-se as principais unidades morfosedimentares aflorantes do Neogénico e Quaternário e interpreta-se a evolução costeira. Realizaram-se trabalhos de gabinete (análise de imagens de satélite em SIG, cartas topográficas, imagens SRTM, construção de perfis topográficos, etc), de campo (reconhecimento topográfico e das fácies deposicionais, amostragem, etc), e de laboratório (de Sedimentologia e de datação OSL).

Distinguiram-se as seguintes unidades morfosedimentares:

- A Formação Barreiras é constituída por sedimentos argilosos, com níveis arenosos inconsolidados e concreções ferruginosas; a cor varia de alaranjada a esbranquiçada (Nunes et al., 2011). O seu topo constitui superfície plana inclinada para o mar, com altitudes entre 150 e 10 m; a área mais elevada apresenta-se deformada em anticlinal com eixo NNE-SSO, resultante de tectónica ativa compressiva. É interpretada como vasto ambiente sedimentar deltaico, incluindo sistema fluvial entrançado passando distalmente a facies transicionais de planície litoral. É a unidade culminante no enchimento sedimentar da região (última fase de evolução fisiográfica agradativa da Bacia Potiguar),

antecedendo a etapa de encaixe da rede hidrográfica; É-lhe atribuída uma idade do Miocénico ao Pliocénico (Fortes, 1986; Pfaltzgraff, 2010).

- Unidade de depósitos fluviais plistocénicos; corresponde ao enchimento sedimentar de um largo paleovale orientado SSO-NNE. A sua superfície apresenta-se com altitudes entre 120 m (a SSO) e 14 m (a NNE). As camadas são granodécrescentes, com espessura decimétrica a métrica (Bezerra et al., 2006). Predominam conglomerados e arenitos, depositados sobre superfície erodida (desconformidade), embutida na Form. Barreiras. Este paleovale situa-se no extremo oeste da área de estudo e corresponde ao ancestral rio Piranhas-Açu, antes da avulsão para a posição holocénica situada mais a leste. Tem idade entre ~350 ka e ~14 ka (Moura-Lima et al., 2010).

- Terraço marinho aos 9-13 m de altitude, constituído por areias médias bioclásticas, mal calibradas, esbranquiçadas. Pode atingir 3 m de espessura e situa-se a 9-10 km para o interior da linha de costa atual; tem idade de ~6 ka (OSL). É correlativo de depósitos lagunares datados de 7-4,6 ka (Barbosa et al., 2018).

- Terraço marinho aos 4-8 m, constituído por areias médias-finas bioclásticas, mal calibradas, esbranquiçadas e com ~2 ka (OSL). Pode atingir 2 m de espessura e situa-se a ~0,2 a 8 km para o interior da costa atual. É correlativo de depósitos lagunares datados de 2,7-2,5 ka (Barbosa et al., 2018).

- Terraço fluvial do rio Piranhas-Açu, com altitude de 2 a 8 m (1-2 m acima da planície aluvial); apresenta

areia fina e silte médio-fino de cor castanho escuro e claro. Tem idades correspondentes aos últimos 500 anos. A sedimentação atual é constituída por areias muito finas no canal, com profundidade de 2-5 m.

- Moderno sistema de ilhas barreira - laguna, ocupando uma área com cerca de 180 km², essencialmente constituída por planícies lodosas intermareais de manguezal, lodos orgânicos e, localmente, areias finas. Barreiras arenosas e restingas fazem o limite atual entre a laguna e o Oceano Atlântico, apresentando-se com 3 a 8 km de extensão e 0,1 a 1,8 km de largura. Nas barreiras obtiveram-se idades (OSL) dos últimos ~500 anos, documentando migração no sentido E-O; em duas posições, foram calculadas velocidades de migração em 8 e 15 m/ano, nos últimos séculos. No contacto com o mar, as maiores barreiras apresentam faixa de praia com areias finas a grosseiras bioclásticas. Para o interior desenvolve-se uma cobertura de areias eólicas finas, com dunas móveis barcanóides que podem atingir 12 m de altura; apresentam cor esbranquiçada podendo passar para laranja ao entrar em contato com a Form. Barreiras; indicam predomínio de vento de NE. Também existem dunas barcanóides e parabólicas, constituídas por areias médias a finas, fixas por vegetação rasteira.

É possível propor as seguintes fases evolutivas: 1) A Form. Barreiras documenta um muito importante acarreo siliciclástico, em sistema fluvial a litoral, com

idade que poderá abranger o Pliocénico; 2) O Plistocénico médio-superior está representado por depósitos fluviais; 3) O Holocénico está documentado por depósitos de terraço fluvial e dois terraços marinhos, bem como por sedimentação atual de ilhas barreira - laguna. O terraço dos ~6 ka corresponde com o máximo eustático da literatura (Suguio, 2010); o terraço dos ~2 ka corresponde a deposição em período mais húmido, no intervalo entre os eventos Bond 2 e Bond 1 (Bond et al., 2001).

No Quaternário, há tectónica ativa compressiva responsável pelo dobramento anticlinal com eixo NNE-SSO da Form. Barreiras, bem como por cursos de água com expressão de lineamentos NE-SO. O terraço marinho aos 9-13 m (~6 ka), sofreu soerguimento.

Agradecimentos: este trabalho teve apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo fomento de pesquisa, (processos 2018/23828-8 e 2022/05005-0) e da Fundação para a Ciência e Tecnologia, nos projetos UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020 (MARE) e LA/P/0069/2020 (Laboratório Associado ARNET).

Referências

- Barbosa, M.E.F., Boski, T., Bezerra, F.H.R., Gomes, M.P., Filho, F.P.L., Pereira, L.C., Maia, R.P. (2018). The late Quaternary infilling of the Assu river-embayment and related sea-level changes, NE Brazil. *Marine Geology*, 405, 23-37.
- Bezerra, F.H.R., Amaral, R.F., Silva, F.O., Sousa, M.O.L., Fonseca, V.P., Vieira, M.M., Lima, E.N.M. & Aquino, M.R. (2006). Folha Macau SB.24-X-D-II e SB.24-X-V. CPRM.
- Bond, G., Kromer, B., Beer, L., Muscheler, R., Evans, M.N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I. & Bonani, G. (2001). Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, v.278, 1257-1266.
- Fortes, F.P. (1986). A tectônica de teclas da Bacia Potiguar. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Goiânia. v.3, 1145-1159.
- Moura-Lima, E.N., Bezerra, F.H.R., Lima-Filho, F.P., Castro, D.L. de, Sousa, M.O.L., Fonseca, V.P. & Aquino, M.R. (2010). 3-D geometry and luminescence chronology of Quaternary soft-sediment deformation structures in gravels, northeastern Brazil. *Sedimentary Geology*, 160-171.
- Nunes, F.C., Silva, E.F. Da & Vilas Boas, G.S. (2011). Grupo Barreiras: características, gênese e evidências de neotectonismo. Rio de Janeiro. Embrapa Solos.
- Pfaltzgraff, P.A.S. (2010). Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte. CPRM.
- Suguio, K. (2010). *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais*. 2 ed. São Paulo. Oficina de Textos.
- Vital, H. (2009). The mesotidal barrier of Rio Grande do Norte. In: Dillemburg, S. e Hesp, P. *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*, Springer-Verlag, Berlin, Germany. 289-324.

Caraterização geomorfológica dos *inselbergs* do setor Malema-Ribáuè da Província de Nampula (Moçambique)

Geomorphological characterization of the *inselbergs* of the Malema-Ribáuè sector, Nampula (Mozambique)

C. S. J. Bonga (1,2), A. Gomes (3,4), F. C. Lopes (2,5) e P. P. Cunha (2,6)

(1) Universidade Rovuma, Departamento de Geociências – Nampula, Moçambique

(2) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra (DCT-UC), fernando.c.lopes@dct.uc.pt

(3) Universidade do Porto, Departamento de Geografia (DG-UP)

(4) Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT-Porto)

(5) Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (CITEUC)

(6) Centro de Ciências do Mar e do Ambiente (MARE)

Summary: This study aims to understand the relationship between the geological and morphological characteristics of the *inselbergs* located in the Ribáuè-Malema sector of Nampula (Mozambique). The detailed characterization of this particular type of landscape will contribute to develop further studies focused in geoheritage and environmental conservation topics. The study area comprises part of the Malema, Ribáuè and Lalaua districts. The studied *inselbergs* were characterized according to their lithological and morphological attributes, using the information provided by the geological maps and by digital terrain models made in ArcGIS 10.8.2. In the classified resistant landforms, the predominant lithologies are granites, gneisses and migmatites.

Key words: *Inselbergs*, geomorphological characterization, Malema-Ribáuè, Nampula, Mozambique

Palavras-chave: *Inselbergs*, caraterização geomorfológica, Malema-Ribáuè, Nampula, Moçambique

Introdução

Inselbergs são cêrros ou montes isolados cuja topografia se destaca abruptamente acima das regiões aplanadas circundantes. Geologicamente, e em regra, estas elevações são formadas por granitos e gneisses, i.e., por rochas antigas e resistentes à erosão, que passaram por transformações de amplo espectro morfoclimático, conferindo-lhes características paisagísticas singulares e diversificadas. As suas características e arranjos litoestruturais, condicionam a instalação da rede hidrográfica e a preservação de ecossistemas muito distintos e com elevado endemismo.

Em Moçambique, a província de Nampula apresenta um relevo rico neste tipo de geofomas sobre as quais existem poucos estudos geomorfológicos de pormenor. Assim, o objetivo principal deste estudo é compreender a relação entre a geologia e o relevo dos *inselbergs* no sector Ribáuè–Malema.

Enquadramento geológico e geomorfológico

A área de estudo localiza-se no setor W da província de Nampula, abrangendo uma superfície aproximada de 1856 km². Administrativamente, envolve os distritos de Malema, Ribáuè e Lalaua. Os *inselbergs* do sector Malema-Ribáuè, localizam-se no Bloco de Nampula, o maior segmento crustal

Mesoproterozóico do norte de Moçambique, que abrange uma componente importante do orógeno Pan-Africano Neoproterozóico-Câmbrico, da África Oriental. Estes relevos são constituídos por granito-gneisses bandados e migmatitos, com idades aproximada de 1100-1000 Ma, retrabalhados pela orogenia Pan-africana (550-450 Ma) (Pinna et al., 1993; NGU, 2005, Chauque, 2012). Geomorfologicamente, o setor enquadra-se no Planalto de Nampula, onde se individualizam, acima da aplanção geral, relevos residuais que podem culminar a 1700 m de altitude.

Metodologia

O estudo envolveu a interpretação visual e morfológica de um Modelo Digital de Terreno (MDT) elaborado com dados SRTM, e imagens do Google Earth, trabalhadas em ambiente ArcGIS 10.8.2. Paralelamente, usou-se a folha nº 1438 da carta geológica de Moçambique à escala 1/250.000, dos Serviços Geológicos de Moçambique (NGU, 2006). Com estes dados fez-se uma inventariação e caracterização geomorfológica e geológica dos *inselbergs* do sector Malema-Ribáuè, bem como, uma classificação preliminar destas formas, em função de parâmetros topográficos, geomorfológicos e litológicos.

Resultados e discussão

Na figura 1 está representada a localização dos Inselbergs alvo do presente estudo, cujas características predominantes são apresentadas na tabela I. As suas altitudes variam entre os 550-875 m (Serra de Nacùiuè Sul) e entre os 550-1742 m (Grupos dos Montes Etacanin e Mpalue). As formas dominantes são cumes e cristas erodidas e desnudadas. A análise do MDT sugere que os *inselbergs* estudados possuem formas alongadas com orientações gerais NE-SW, integrando uma sucessão de megadobras isoclinais, de eixos mergulhantes com direção NE-SW.

Considerações finais

Este trabalho pretende constituir uma primeira etapa no estudo dos *inselbergs* desta região. Dos trabalhos a realizar futuramente destacam-se: a) a interpretação morfotectónica da região, de modo a compreender a relação entre a disposição geral dos *inselbergs* e os grandes corredores tectónicos do Bloco de Nampula; b) o estudo da rede de drenagem e a sua relação com a forma e arranjo dos *inselbergs*; c) a identificação detalhada das litologias destes relevos residuais, complementada com estudo petrográfico. Alguns destes *inselbergs*, com as suas formas bizarras e caprichosas, são alvo de lendas e tradições que fazem parte da cultura popular. A sua valorização científica poderá justificar a sua classificação como geossítios.

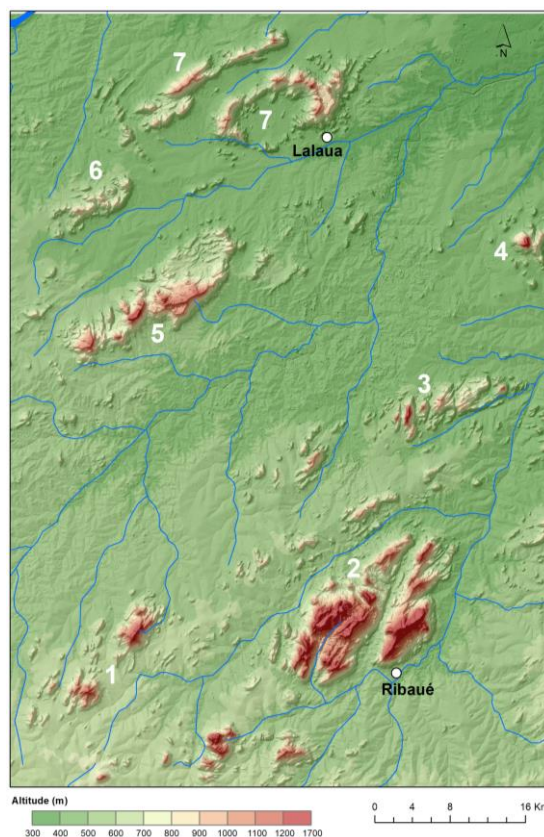


Fig. 1. Modelo digital de terreno do setor Malema – Ribáuè, com a localização dos Inselbergs inventariados (tabela I).

Tabela I: Designação e características dominantes dos Inselbergs do setor Malema – Ribáuè.

Nº	Designação	Topog. Base - topo (m)	Decliv. máx (%)	Formas predominantes
1	Grupo dos Mts. Etacanin	550 -1375	30 - 47	Cumes e cristas, erodidos e desnudados
2	Grupo do Mt Mpalue	550 -1742	30 - 113	Cumes e cristas, erodidos e desnudados
3	Cristas isoladas	550 -1000	30 - 47	Cumes e cristas, erodidos e desnudados
4	Serra de Poupe	550 -1000	31 - 47	Cumes e cristas em forma de mesa
5	Serras de Mutololi – Mutete	550 -1000	32 - 47	Cumes e cristas em forma de mesa
6	Serra de Nacùiuè	550 - 825	30-47	Cumes e cristas, erodidos e desnudados
7	Mts Mucurrere	550 -1000	30-47	Cumes e cristas em forma de mesa

Agradecimentos: a J. S. Ussen pelo apoio na aquisição dos dados de Campo; à Universidade Rovuma, pelo apoio logístico; à FCT pelo apoio financeiro através dos projetos UID/Multi/00611/2020 (CITEUC), UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020 (MARE) e LA/P/0069/2020 (Lab. Associado ARNET); ao DCT-Univ.Coimbra.

Referências

- Cháuque, F.R. (2012). *Contribuição para o conhecimento da evolução tectónica do Cinturão de Moçambique, em Moçambique*. Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo.
- NGU (2006). Carta geológica de Moçambique à escala 1/250.000. Folha nº 1438. Levantamento geológico de J. Jacobs (BGS), B. Bingen, G. Viola, G. Matuza (NGU).
- Pinna, P., Jourde, G., Calvez, J. Y., Mroz, J. M. & Marques, J.M. (1993). The Mozambique Belt in northern Mozambique: Neoproterozoic (1100–850 Ma) crustal growth and tectogenesis, and superimposed Pan-African (800–550 Ma) tectonism. *Precambrian Research*, 62(1-2), 1-59.
- Silva, J. (2009). Morphodynamic behaviour and evolution of the Porto Santo sandy beach. *Journal of Coastal Research*, 7, 127-149.

Geomorphological analysis of Castro de Laboreiro area (PNPG) with LiDAR data

Análise geomorfológica da área de Castro de Laboreiro (PNPG) com dados LiDAR

J. Costa (1,2), A. Gomes (1,2) and E. Figueira (2)

(1) CEGOT - Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade do Porto, up201503056@up.pt

(2) Departamento de Geografia, Universidade do Porto

Resumo: Este trabalho apresenta os resultados da análise geomorfológica do relevo de Castro de Laboreiro (Parque Nacional da Peneda-Gerês). A interpretação realizou-se com recurso a dados topográficos de grande precisão vertical e horizontal (dados LiDAR) e fotografia aérea de elevada resolução. Assim, foi possível identificar e diferenciar formas de relevo características da área, tais como: relevos residuais, vales de fratura/falha, cones de dejeção/leques aluviais. Paralelamente, identificaram-se possíveis capturas fluviais com os respetivos cotovelos de captura e vales secos, assim como, a definição de pequenas paleobacias endorreicas. Os dados morfológicos acentuam a influência da fracturação/litologia nas formas de relevo desta área. Adicionalmente, demonstram a importância destes dados para o avanço no conhecimento geomorfológico do PNPGE.

Palavras-chave: Análise Geomorfológica, Morfologia Granítica, Paisagens Relíquia, Dados LiDAR

Key words: Geomorphologic Analysis, Granitic Landforms, Relict Landscapes, LiDAR data

Introduction

Geomorphological analysis of the landscape is essential to understand the processes that shape the Earth surface. The results can be applied in various fields, e.g., the management of natural resources or in the study of relief evolution.

To perform geomorphological analysis, it is important to have access to detailed topographic data. With the development of LiDAR (Light Detection and Ranging), and the increasing amount of data being gathered, researchers gained access to high-resolution topographic data. Additionally, LiDAR allows to filter vegetation returns and process a bare-ground digital elevation model (DEM). These models expose terrain features that couldn't be seen in traditional elevation models, aerial photography or during field work (Hudak et al., 2009; Glennie et al., 2013).

In this study, we explore the use of DEMs derived from LiDAR, to identify geomorphological features in Castro de Laboreiro, in Peneda-Gerês National Park (PNPG). Our main objectives comprise the analysis of the drainage network arrangement, relict landscapes and lithologic differences, the identification of geomorphological features (e.g., slope deposits, alluvial fans), and assess the influence of structure (tectonics and lithology) on the area landforms.

Methodology

To generate the DEM of the study area, we verified the provided LiDAR data classification (CIM Alto Minho) and corrected specific locations where the data was wrongly classified. In the case of the Castro de Laboreiro dataset, four small granitic mountain tops were wrongly classified as buildings or vegetation. The dataset errors were manually corrected with GIS software.

Following the data validation, the non-ground returns were removed, and a 50 cm resolution DEM was processed with the bare-ground returns. The model served as a base for terrain analysis with the extraction of geomorphic parameters (slope, drainage network, hillshade and contours). The resulting terrain data and high-resolution aerial photographs were used to analyse and identify the Castro de Laboreiro relief and geomorphological features. The results of the analysis were validated with field observations of key locations in the study area.

Results and discussion

From the analysis taken, it was possible to identify interesting features in the Castro de Laboreiro landscape (Fig. 1). Concerning the drainage network, several potential river captures were identified. One

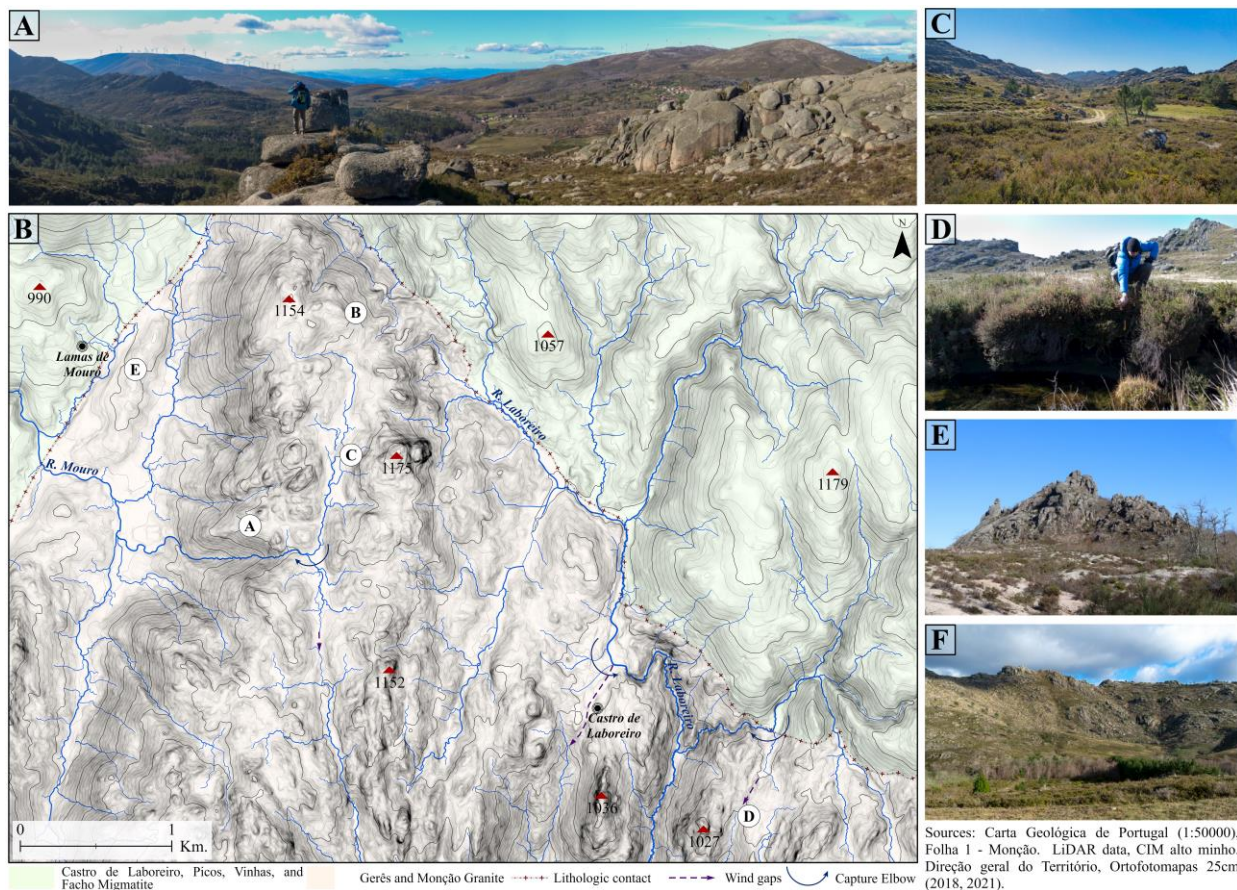


Fig. 1. The relief of Castro de Laboreiro area: A) Panoramic view over Lamas de Mouro depression, highlighting the contrast between the relief on granitic and metamorphic basement; B) Hillshade, Lithology and main hydrographic network map; C) Panoramic view of the potential perched endoreic basin; D) Peat and sand deposits filling the bottom of the potential endoreic basin; E) Granitic residual relief; F) Slope deposit.

in the Franqueira mountain top (Fig. 1B), between Lamas de Mouro and Castro de Laboreiro, where the river flows on a top flat surface, and then falls into the Moura River watershed. The conditions on the top and the lowered divide indicate that the river previously flowed into the Laboreiro river.

In the same area, the presence of peat and sandy sediments filling the bottom of a probable perched watershed, suggest that the Franqueira mountain top might be an old endoreic basin. Additionally, two possible river captures in the Laboreiro river were identified, near Castro de Laboreiro. In this case, due to the presence of wind gaps and elbows of capture. A high contrast between landforms and relief characteristics was identified between granitic and

metamorphic basement, highlighting the relict landscapes of granitic residual landforms (Fig. 1D). Finally, we identified several slope deposits and small alluvial fans, in Lamas de Mouro depression (Fig. 1E). All these depositional landforms are in the west side of the Franqueira Mountain.

Conclusion

Overall, with this study we could confirm the usefulness of detailed earth surface models for geomorphologic analysis. Additionally, interesting geomorphic features were observed in the landscape of the PNPG, such as river captures and alluvial fans, indicating that this area has an important geomorphologic history to unveil.

Acknowledgements: Jorge Costa acknowledges his PhD scholarship (ref. 2021.05304.BD) funded by Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), I.P.

References

- Glennie, C.L., Carter, W.E., Shrestha, R.L., & Dietrich, W.E. (2013). Geodetic imaging with airborne LiDAR: the Earth's surface revealed. *REPORTS ON PROGRESS IN PHYSICS*, 76(8).
- Hudak, A.T., Evans, J.S., & Smith, A.M.S. (2009). LiDAR Utility for Natural Resource Managers. *REMOTE SENSING*, 1(4), 934-951.

Monitorização geodésica e inclinométrica de um movimento de vertente: um caso de estudo no lugar da Maia (ilha de Santa Maria, Açores)

Landslide geodetic and inclinometric monitoring: a case study in Maia (Santa Maria Island, Azores)

R. Fagundes Silva (1) e R. Marques (2)

- (1) Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos; Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores, ruiff.silva@azores.gov.pt.
- (2) Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos; Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores.

Summary: In March 2010, a landslide with 18,500 m² caused several damages at Maia (Santa Maria Island). In order to evaluate the kinematic behaviour and the geometry of the unstable mass, it was architected and implemented a permanent geodetic and inclinometric monitoring network. The results of the geodetic network demonstrates a heterogeneous spatial deformation pattern in the unstable mass. The planimetric and altimetric displacement is higher in the central sector of the landslide, along the top-foot axis of the deposit, with maximum accumulated displacement since 2012 of 0.05 m and 0.01 m, respectively. The failure surface is located between 18.0 m and 18.5 m in depth in the FSM1 borehole and between 15.5 m and 16.0 m in the FSM2 borehole. The maximum accumulated displacement in depth is 18.5 mm and 20.5 mm in the FSM1 and FSM2 boreholes, respectively.

Key words: Landslides, Monitoring, Total Station, Inclinometer, Azores

Palavras-chave: Movimentos de vertente, Monitorização, Estação Total, Inclinómetro, Açores

Em março de 2010 foram desencadeados vários movimentos de vertente na ilha de Santa Maria (e.g. Maia, Panasco e Praia Formosa) como consequência da precipitação registada ao longos dos meses anteriores. Na Maia, um movimento de vertente do tipo deslizamento provocou danos em 10 edifícios, na rede de abastecimento de água e eletricidade e na única estrada de acesso ao lugar. O deslizamento apresenta cerca de 200 m de comprimento máximo, 150 m de largura máxima e uma área de 18.500 m² (Fig. 1).

O deslizamento está localizado na base de uma arriba fóssil com aproximadamente 210 m de altura e inclinação vertical. O topo do movimento de vertente apresenta uma inclinação entre os 35° e 40°, diminuindo até aos 5° à medida que a cota decresce. A maioria das edificações e outras estruturas está presente na zona de menor declive, sendo a restante área ocupada por currais de vinha. A jusante encontra-se a arriba atual com cerca de 10 m de altura e inclinação vertical.

Sob o ponto de vista geológico, a base da arriba fóssil é composta por uma sucessão de escoadas lávicas basálticas (s.l.) de origem submarina e na crista afloram escoadas lávicas subaéreas (Serralheiro e Madeira, 1990). O depósito de vertente corresponde

a um depósito sedimentar de idade quaternária (holocénica), cuja génese está relacionada com o desmonte da arriba fóssil e erosão dos materiais (Serralheiro e Madeira, 1990). Este depósito apresenta elevada heterogeneidade granulométrica, composto por seixos, calhaus e blocos e uma matriz silto-argilosa.



Fig. 1. Enquadramento do movimento de vertente em estudo (a linha a tracejado corresponde à delimitação do movimento de vertente).

Com o objetivo de avaliar o comportamento cinemático e a geometria da massa instável, foi arquitetada e implementada em 2012 uma rede de monitorização geodésica permanente (Marques et

al., 2014). Devido à cinemática do deslizamento, em 2017, foi instalada uma rede inclinométrica, o que permitiu a monitorização da deformação em profundidade (Marques *et al.*, 2017).

A rede de monitorização geodésica é composta por uma Estação Total Leica TM30, dois pontos de controlo, fixados em locais estáveis e 25 pontos de monitorização implementados em pilares de betão e em estruturas pré-existentes (*e.g.* casas e paredes). A rede está em funcionamento 24/7 e os dados são recolhidos com uma periodicidade de três horas. A rede de monitorização inclinométrica é constituída por dois furos (FSM1 e FSM2) com 21,1 m e 20,05 m de profundidade, respetivamente, onde foi instalada uma calha plástica da *RST Instruments*. Ambos os furos atravessam, ao longo da sua extensão, depósitos de vertente provenientes do desmonte da arriba fóssil que lhes é sobranceira, e na base intercetam uma escoada lávica submarina de natureza basáltica (*s.l.*).

Os resultados da rede geodésica demonstram um padrão de deformação espacial heterogéneo da massa instável (Fig. 2a).

O deslocamento planimétrico e altimétrico é maior no setor central do movimento de vertente, ao longo

do eixo topo-pé do depósito, que poderá estar associado à morfologia côncava do movimento de vertente. Este facto promove a acumulação de água por escorrência superficial e concomitantemente o aumento da carga efetiva e da tensão cisalhante neste setor. No pé do deslizamento, o deslocamento planimétrico e altimétrico aumenta com a proximidade à arriba costeira, sendo mais elevado no ponto de monitorização P2 com 0,05 m e 0,01 m, respetivamente.

Os dados obtidos a partir da rede de monitorização inclinométrica permitiram a identificação da superfície de rotura entre 18,0 m e 18,5 m de profundidade no furo FSM1 e entre 15,5 m e 16,0 m de profundidade no furo FSM2. O deslocamento máximo acumulado do movimento de vertente é de 18,5 mm e 20,5 mm a 7,0 m e 1,0 m de profundidade, nos furos FSM1 (Fig. 2b) e FSM2, respetivamente. O deslocamento acumulado da massa instável sobre o material subjacente (estável) é de 15,0 mm e 14,0 mm nos furos FSM1 e FSM2, respetivamente. Verifica-se uma diminuição da deformação com a aproximação ao plano de rotura, causada pelo atrito do material instabilizado sobre o material subjacente.

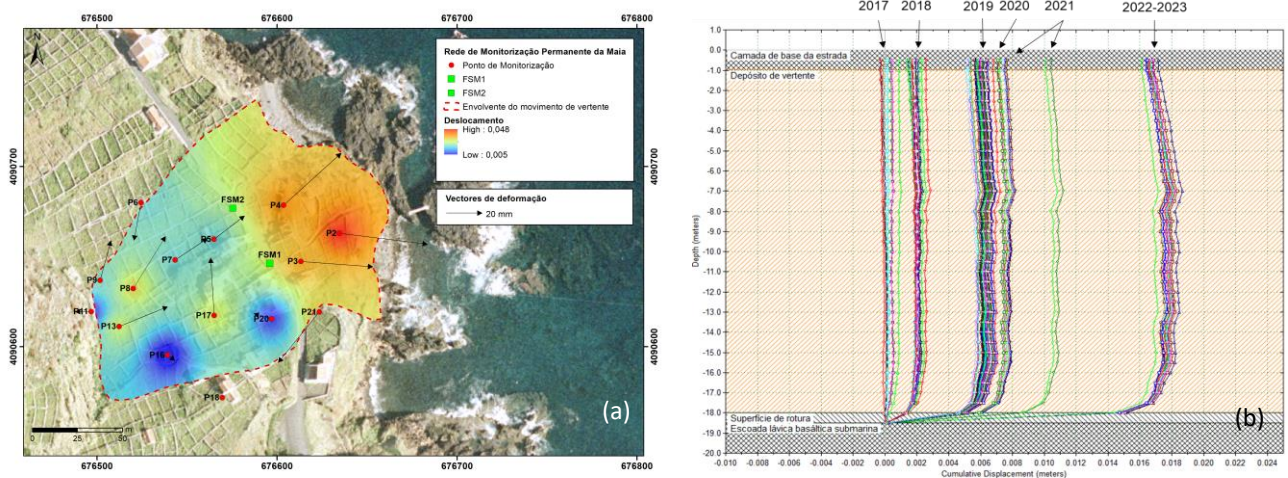


Fig. 2. (a) Resultados do deslocamento planimétrico do movimento de vertente e (b) inclinométrico do furo FSM1.

Referências

- Marques, R., Pacheco, P., Amaral, P. & Gaspar, J.L. (2014). Desenvolvimento e implementação de um sistema de monitorização automático para movimentos de vertente em tempo real com recurso a uma estação total: um caso de estudo no lugar da Maia (ilha de Santa Maria, Açores). *Comunicações Geológicas, Especial II*: 907-911.
- Marques, R., Pacheco, P. & Silva, R. F. (2017). Monitorização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco (Ilha de Santa Maria). R.1 – Ponto de situação da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro - novembro de 2017). Documento Técnico-Científico 017/IVAR/CIVISA/17.
- Serralheiro, A. & Madeira, J. (1990). Stratigraphy and geochronology of Santa Maria Island (Azores). Livro de homenagem a Carlos Romariz. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 357-376.

Cartografia geomorfológica das formas glaciárias da Serra Amarela (PNPG)

Geomorphological mapping of glacial landforms in Serra Amarela (PNPG)

E. Figueira (1), A. Gomes (1) e J. Costa (1)

(1) Dep. de Geografia, Universidade do Porto, CEGOT - Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, edgarjunceiro@gmail.com

Summary: *Geomorphological evidence for the Pleistocene glaciation of Serra Amarela (Peneda-Gerês National Park) was provided by Coudé-Gaussen in 1981. However, the limits of the glaciated area are imprecise for glacial reconstruction. This mountain is characterized by its W-E asymmetric topography and by the dominance of granitic lithology over restricted metamorphic outcrops. The steep western slopes are dominated by fluvial and relict periglacial landforms, but the steep eastern slopes show evidence of former glacial erosion and deposits, particularly in the Ramisquedo glacial cirque. Fluvioglacial and slope deposits are frequently observed on the valley floors and mountainsides. This work presents a new geomorphological map of the Serra Amarela, accomplished through the analysis and interpretation of high-resolution LiDAR data, complemented by laboratory analysis and fieldwork validations of the deposits. This new map and data will allow the definition of the Glacial Maximum Extent (GME), ice thickness and Equilibrium-Line Altitude for the Serra Amarela glaciation.*

Key words: Serra Amarela, Pleistocene glaciations, LiDAR, geomorphological mapping

Palavras-chave: Serra Amarela, Glaciações Plistocénicas, LiDAR, cartografia geomorfológica

Os glaciares de montanha do norte de Portugal, situados entre as latitudes 41°N e 42°N, definem o limite sul das glaciações plistocénicas no NW da Península Ibérica. A disposição escalonada, a partir do oceano, das montanhas do NW Português traduz-se no incremento da altitude e na definição de uma barreira orográfica. A proximidade oceânica implica uma forte exposição à passagem das frentes polares. Estes factos, justificam que durante o Plistocénico tenham ocorrido volumosas chuvas orográficas, que em altitude, davam origem a quedas de neve abundantes e à formação de glaciares acima dos 800 m, nas montanhas do atual Parque Nacional da Peneda-Gerês (Coudé-Gaussen, 1981), do qual faz parte a Serra Amarela.

Orograficamente, a Serra Amarela (1361 m) revela significativa assimetria entre as vertentes orientadas a Oeste e a Este. Tal como nas serras vizinhas do Soajo e da Cabreira, observam-se formas e testemunhos periglaciários nas vertentes viradas a W, enquanto os vales virados a E e a N apresentam-se mais encaixados e com cabeceiras abruptas e escavadas.

Litologicamente, o maciço da Serra Amarela é constituído por rochas graníticas, registando ainda afloramentos circunscritos de rochas metamórficas, intrusões de massas aplíticas e filões de quartzo.

Este estudo visa contribuir para o conhecimento das evidências geomorfológicas das glaciações plistocénicas da Serra Amarela. Assim, recorrendo a Modelos Digitais de Terreno (MDT) e de Superfície (MDS) com elevada resolução espacial (0,5 m), obtidos a partir de dados

LiDAR; a ortofotomapas; e à interpretação de gabinete e trabalho de campo, mapeia-se e discute-se a distribuição das morfologias glaciárias, bem como as formas e depósitos que podem ilustrar a dinâmica paraglaciária desta paisagem montanhosa.

O mapa geomorfológico foi validado através de vários reconhecimentos de campo, mediante o registo de elementos geomorfológicos na aplicação móvel Survey123 e recorrendo à Legenda Geomorfológica da Universidade de Lausanne.

Assim, foram identificadas morfologias típicas de: ambiente glaciário como circos, acumulações morénicas, blocos erráticos e superfícies graníticas polidas; de ambiente periglaciário como acumulações crioclásticas e formas de granito pseudo-estratificado; e de ambiente paraglaciário como depósitos de vertente (cones de dejeção, fluxo de detritos), acumulações de fundo do vale e o desenho da rede hidrográfica atual.

Nos trabalhos de Coudé-Gaussen (1981) e Ferreira et al. (1999), já se encontram mapeados o circo do Ramisquedo, a Moreia Lateral Norte (ML 2), localizada aproximadamente aos 1080 m e com cerca de 226 m de comprimento (Fig. 1a), Moreia Lateral Sul (ML 1), ambas já muito desmanteladas, assim como os depósitos fluvioglaciários de Vilarinho das Furnas, associados ao ambiente proglaciário, e que, segundo Coudé-Gaussen, são de origem torrencial.

A partir dos MDT/MDS, identificaram-se formas claras como a Moreia Lateral Sul (ML 1) (Fig. 1a e 1c), depositada pelo interflúvio aos 1135 m de altitude e

com cerca de 385 m de comprimento. É notório que o declive e a erosão fluvial dominam o dismantelamento deste depósito morénico, evidenciando a ocorrência de dinâmicas paraglaciárias. Entre as duas moreias, regista-se um desnível altimétrico de 50 m. Inferimos que os ventos de NW-N-NE promoveram a movimentação das neves, tornando a morfologia do glaciar deslocada à direita, favorecendo a deposição de sedimentos sobre esse lado (*snow drift*). O circo do

Ramisquedo (Fig. 1a e 1c) tem como *Cirque Floor Altitude* (CFA) 1025 m e o *apex* encontra-se aos 1350 m. De acordo com Figueira et al. (2022), na Serra do Soajo (topo a 1416 m), a ELA encontra-se a 1087 m de altitude. Estabelecendo um paralelo com a Serra do Soajo e os dados morfométricos da Serra Amarela, possivelmente, o glaciar do circo do Ramisquedo, atingiu cerca de 110 m de espessura, e teria a ELA posicionada entre os 1150 m e 1100 m de altitude.

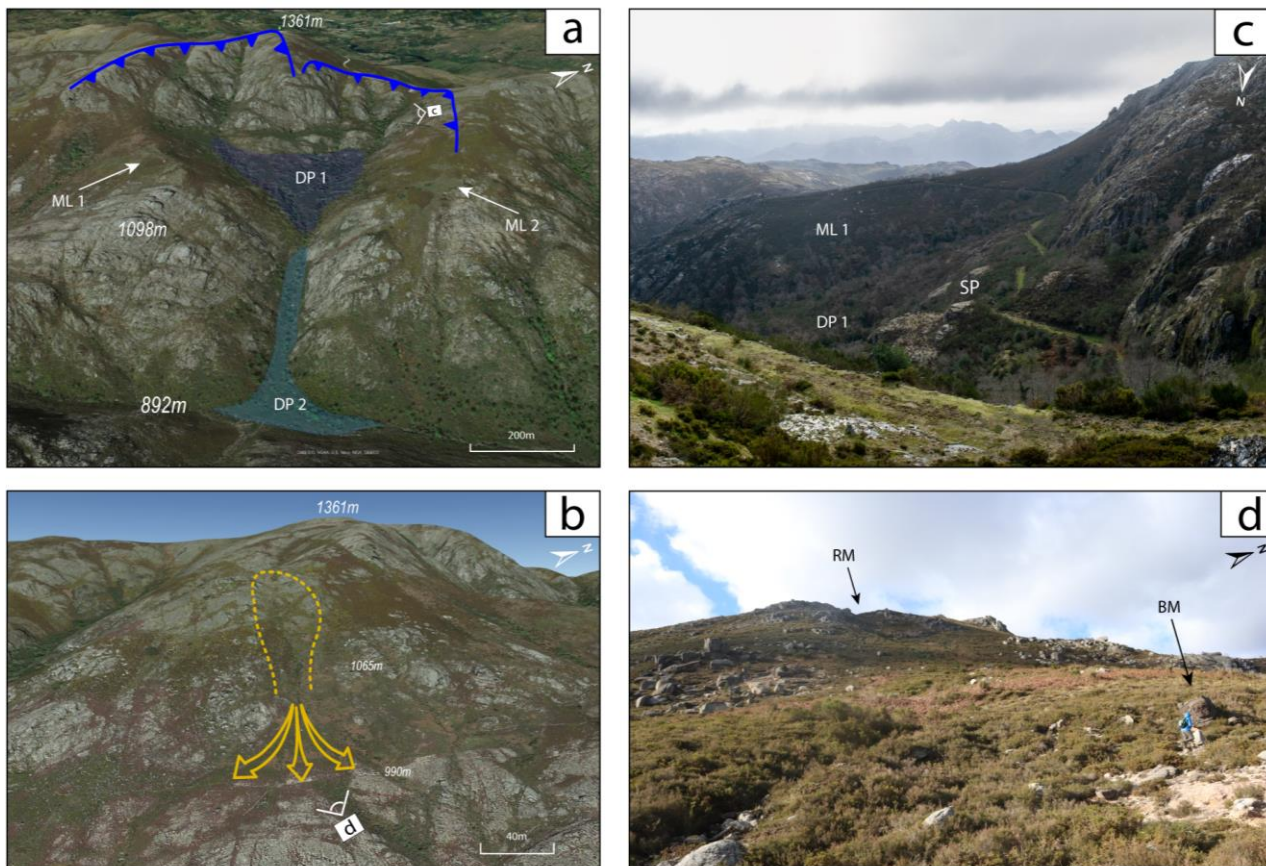


Fig. 1. Perspectivas geomorfológicas da Serra Amarela: a) vista global do Circo do Ramisquedo, ML - moreia lateral, DP1 - depósito morénico (till), DP2 - depósito fluvioglaciário; b) Cone de dejeção e respetiva bacia de alimentação, em Porto Covo; c) vista do Circo do Ramisquedo com destaque para as paredes abruptas e as superfícies polidas do fundo (SP); d) Vista para o cone de dejeção, evidenciando-se um bloco de rocha metamórfica (BM) proveniente do topo da bacia de alimentação (RM). (Perspectivas 3D obtidas a partir de Google Earth Pro, 2023).

Referências

- Ballantyne, C.K. (2002). A general model of paraglacial landscape response. *Holocene*, 12(3), 371–376.
- Coudé-Gaussen, G.(1981). Les Serras da Peneda et do Gerês. Vol. No. 5. *Memórias do Centro de Estudos Geográficos*, Lisboa, 254 p.
- Ferreira, A.B.; Vidal-Romaní, J.R.; Zêzere, J.L. & Rodrigues, M.L. (1999). A glaciação plistocénica da Serra do Gerês. Vestígios geomorfológicos e sedimentológicos. A.G.F.A., Rel. 37, *Centro de Estudos Geográficos*, Lisboa, 150 p.
- Figueira, E., Gomes, A., Pérez-Alberti, A., & Chaminé, H.I. (2022). 3D modelling of the maximum ice extent and thickness of the palaeoglacier of Serra do Soajo, Northern Portugal. *International Congress on Geomorphology*, 2–3.

Levantamento diferencial evidenciado pelas escadarias de terraços marinhos do Cabo Espichel e do Cabo Raso durante o Plistocénico

Differential uplift evidenced by the marine terrace staircases at Cabo Espichel and Cabo Raso during the Plistocene

M. P. Gouveia¹, **A. A. Martins**², **P. P. Cunha**¹, **A. Gomes**³, **C. Falguères**⁴, **P. Voinchet**⁴, **M. Stokes**⁵, **B. Caldeira**⁶, **J. Cabral**⁷, **J.P. Buylaert**⁸, **A. S. Murray**⁹, **J.J. Bahain**⁴, **S. Figueiredo**¹⁰ e **P. Yang**¹

(1) Universidade de Coimbra, MARE- Centro de Ciências do mar e do Ambiente e ARNET- Rede de Investigação Aquática, Departamento de Ciências da Terra; mariamporto@gmail.com

(2) Universidade de Évora, Departamento de Geociências; ICT- Instituto de Ciências da Terra

(3) Universidade do Porto, Departamento de Geografia; CEGOT

(4) Universidade de Sorbonne, MNHN, Dép. Homme et Environment, CNRS-UPVD; França

(5) School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Plymouth; UK

(6) Universidade de Évora, Departamento Física, ICT – Instituto Ciências da Terra

(7) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz; Lisboa

(8) Departamento de Física, Universidade Técnica da Dinamarca, Campus de Risø, DK

(9) Nordic Laboratory for Luminescence Dating, Aarhus University, Risø DTU, DK

(10) Instituto Politécnico de Tomar; Centro Português de Geo-História e Pré-História; Centro de Geociências UC

Summary: *This study focuses on two marine terrace staircases of central Portugal: Cabo Raso (west of Lisboa) and Cabo Espichel (western Arrábida chain). Four emerge marine terraces were found in the Cabo Raso area, while twelve were found at Cabo Espichel, according to geomorphological and stratigraphical studies. Electron Spin Resonance and luminescence dating were used to establish a chronology for the coastal staircases, from which uplift rates were calculated. The present elevations of the culminating marine abrasion platform represented at Cabo Raso and Cabo Espichel, express the differential uplift between these areas over the last ~3,7 Ma.*

Key words: *marine terraces; absolute dating; Pleistocene; uplift; central coast of Portugal*

Palavras-chave: terraços marinhos, datação absoluta, Plistocénico, soerguimento crustal, costa de Portugal central

A margem passiva ocidental portuguesa tem estado sujeita a soerguimento crustal relacionado com a compressão causada pela convergência entre as placas Africana e Euroasiática. Esse soerguimento pode ser quantificado a partir de referências geomorfológicas e de registos sedimentares preservados nas escadarias dos terraços marinhos. As escadarias de terraços marinhos desenvolveram-se por ação das ondas em função das oscilações glacio eustáticas durante o Quaternário, num contexto de soerguimento tectónico regional.

O presente trabalho tem como principal objetivo o cálculo do soerguimento crustal nas escadarias de terraços marinhos existentes no Cabo Raso e no Cabo Espichel (Fig. 1). Este cálculo é realizado a partir da datação absoluta obtida para diferentes níveis de terraços marinhos, (Gouveia, 2021) e através da sua correlação com os estágios isotópicos marinhos (MIS) e respetivos níveis eustáticos.

As metodologias utilizadas nesta investigação foram: análise bibliográfica; estudo geocronológico por datação absoluta (*Electron Spin Resonance* - ESR e *Luminescência estimulada em infra-vermelho* - p-IRIR); análise geomorfológica complementada com levantamentos aereofotogramétricos com VANT (*veículo aéreo não tripulado*), uso de dados LIDAR (*Light Detection and Ranging*) e levantamentos topográficos com GPS diferencial, produção de mapas detalhados usando ferramentas SIG (sistemas de informação geográfica), análise estratigráfica e sedimentar, bem como o cálculo das taxas de soerguimento segundo o método de Roberts et al. (2013). Foram utilizadas as curvas eustáticas de Spratt e Lisiecki (2016) para estimar as altitudes originais esperadas dos ângulos de linha de costa, posteriormente confrontadas com as altitudes obtidas no terreno.

Foram identificados 4 terraços marinhos entre os +38 m e os +9 m (Tm1-Tm4) no Cabo Raso e 12 terraços marinhos, abaixo da plataforma do Cabo Espichel

(+220 - 140 m), (Tm1 (+109 m) – Tm12 (+2m) no Cabo Espichel.

Com os resultados obtidos concluiu-se que no Cabo Raso, o Tm1 (+38m) poderá corresponder ao MIS 17 (712-676 ka), o Tm2 (+34m) relaciona-se com o MIS 15 (621-563 ka) e terá sido reocupado durante o MIS 11 (408-399 ka), o Tm 3 (+22m) corresponde ao MIS 13 (533-478 ka) e posteriormente foi reocupado durante o alto nível do mar no interglaciário MIS9 (316-109 ka) e o Tm4 (+9m) correlaciona-se com o MIS 7 (243-191 ka).

No Cabo Espichel, os oito terraços mais baixos foram correlacionados com os altos níveis médios do mar desde o MIS 17 (~700 ka) ao MIS 5e (~125 ka).

Para tempos anteriores ao MIS 17, o nível eustático dos MIS não se ajusta bem às altitudes dos terraços marinhos, considerando as taxas de levantamento inferidas para os terraços mais jovens, o que traduz uma diminuição da taxa de soerguimento costeiro para os tempos mais antigos. Tanto no Cabo Raso, como no Cabo Espichel, as escadarias não se correlacionam em todos os níveis de terraço com os picos de nível do mar alto, de uma forma sequencial. Por exemplo, o terraço correspondente ao MIS 11 está acima do correspondente ao MIS 13. Isto sugere que os terraços marinhos foram formados pela sobreposição de múltiplas flutuações do nível do mar num contexto de levantamento a longo termo, mas com uma taxa de levantamento suficientemente baixa para permitir a reocupação das linhas costeiras mais antigas durante alguns MIS subsequentes.

No Cabo Raso, a datação do Tm2 (correlacionada com o MIS 15) permitiu calcular uma taxa de soerguimento de ~0,07 m/ka, que foi decrescendo ao longo dos últimos 125 ka. No Cabo Espichel, a taxa média de soerguimento estimada para o intervalo entre o MIS 5e e o MIS 15 foi de ~0,12m/ka. Para o

intervalo de tempo desde o MIS 17 até ca. 3,7 Ma, a taxa de soerguimento terá sido inferior à dos últimos ~125 ka (~0,04 m/ka). As altitudes atuais da plataforma de abrasão marinha culminante (com ~3,7 Ma), representada no Cabo Raso (~100 m) e no Cabo Espichel (até ~220 m), expressam o soerguimento diferencial entre essas áreas nos últimos ~3,7 Ma.

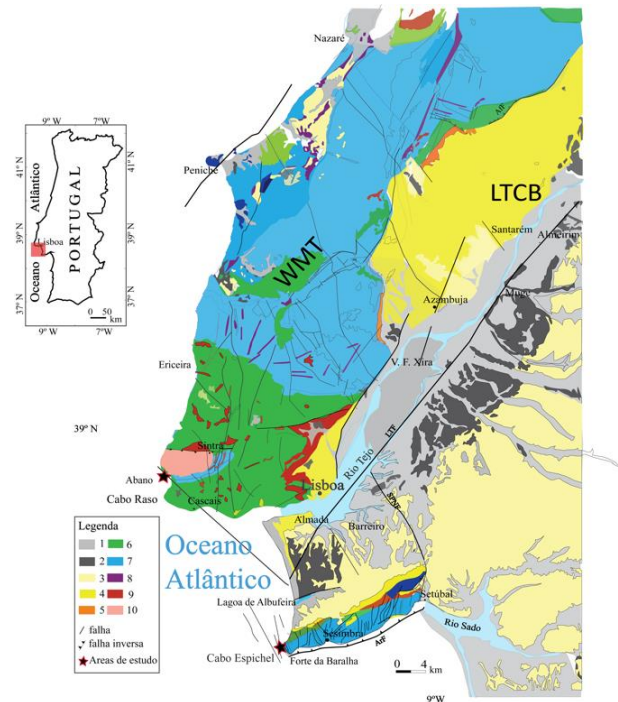


Fig. 1. Mapa geológico das áreas de estudo (baseado na carta Geológica de Portugal, na escala 1/500,000, LNEG, 2020). Legenda: 1- áreas eólicas; (Holocénico e Plistocénico final), 2 – depósitos fluviais (Plistocénico), 3 – areias e argilas (Pliocénico), 4 – areias, argilas e margas (Miocénico), 5 – conglomerados e argilitos (Paleogéneo), 6 – calcários e margas (Cretácico), 7 – calcários (Jurássico), 8 – rochas ígneas filonianas (Cretácico), 9 – rochas vulcânicas (Cretácico) 10 – granitos e sienitos (Cretácico); LTF - falha do baixo Tejo; AF – falha Arrábida; SPNF – falha Setúbal-Pinhal
Novo.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, com fundos FEDER e COMPETE 2020, no âmbito dos projectos UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020 (MARE) e LA/P/0069/2020 (Laboratório Associado ARNET), UID/GEO/04683/2020 (ICT - Instituto de Ciências da Terra) e UIDB/04084/2020 (CEGOT - Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território).

Referências

- Gouveia, M.P., (2021). Electron spin resonance dating of marine and fluvial terraces of Central Portugal. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra, 267 pp.
- Roberts, G.P., Meschis, M., Houghton, S., Underwood, C., Briant R.M., (2013). The implications of revised Quaternary paleo-shoreline chronologies for the rates of active extension and uplift in the upper plate of subduction zones. *Quaternary Science Reviews* 78, 169-187.
- Spratt, R.M., Lisiecki, L.E., (2016). A Late Pleistocene Sea level stack. *Climate of the Past*, 12(4), 1079-1092. <http://www.clim-past.net/12/1079/2016/> doi:10.5194/cp-12-1079-2016-supplement.

Estudo da dinâmica recente no litoral norte de Portugal com recurso a veículos aéreos não tripulados e fotogrametria

Study of the recent dynamics in the northern coast of Portugal using unmanned aerial vehicles and photogrammetry

R. Henriques (1), J. Correia (1), P. Gomes (1), A.M. Gomes (1), J.P. Maia (1), P. Peixoto (1), J. Silva (1) e P. Pereira (1)

Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, rhenriques@dct.uminho.pt

Summary: *A detailed and updated knowledge of local morphodynamics is key to support coastal management decisions and initiatives in the Atlantic sandy coast of Northern Portugal. In recent years frequent high precision photographic surveys have been carried out using unmanned aerial vehicles. The images were processed and detailed DSM and ortomosaics were produced using photogrammetry software. Measurement procedures and comparison between multitemporal data series allowed establishing trends of geomorphological evolution in different sectors and it was possible, for some cases, to quantify the amount of displaced sediment and to determine causes for erosive or deposition episodes. The results obtained show that the use of these low cost and high accuracy tools is an excellent option to support decisions in the management of coastal areas.*

Key words: *remote sensing, coastal morphodynamics, sandy beaches, monitoring.*

Palavras-chave: *deteção remota, morfodinâmica costeira, praias arenosas, monitorização.*

O conhecimento detalhado da morfodinâmica costeira é fundamental em áreas fortemente ocupadas com atividades humanas e propensas a variações rápidas na dinâmica sedimentar. Os sectores de costa predominantemente baixa e arenosa, no litoral norte de Portugal Continental, possuem esta característica, pelo que um conhecimento detalhado das características morfológicas e sedimentares e a monitorização da morfodinâmica local são fundamentais para apoiar decisões e iniciativas de gestão costeira.

No sentido de se constituir uma base de dados da evolução recente e atual do litoral norte de Portugal e de se testarem técnicas e metodologias de monitorização e de deteção remota de elevada precisão e baixo custo, nos últimos anos vários trabalhos de investigação têm sido desenvolvidos em sectores de praia, tendo sido apresentados na forma de dissertações de mestrado (Peixoto, 2017; Gomes, 2018a, 2018b; Correia, 2020; Maia, 2021; Gonçalves, 2022; Silva, 2022). Neste âmbito, foram estudados os sectores costeiros de Camarido e Moledo (Caminha), Afife, Arda, Cabedelo e Amorosa (Viana do Castelo), Belinho, Fieiro Alto, Cepães, Ofir, Bonança e Ramalha (Esposende) e Aguçadoura (Póvoa de Varzim).

A metodologia dos trabalhos desenvolvidos assenta em levantamentos fotográficos intervalados de sectores de praia com recurso a veículos aéreos não

tripulados (VANT). Para o efeito, foram utilizados os equipamentos DJI Phantom 4 RTK e Mavic 2 Pro (modificado com adaptação a RTK/PPK). No sentido de se obter a melhor resolução possível na aquisição de dados, os levantamentos decorreram com colheita de pontos de controlo no solo com recurso a um dispositivo GNSS com correção diferencial RTK. Estes pontos serviram para ortorretificar os ortomosaicos e os modelos digitais de superfície (MDS). Recentemente foi modificado o fluxo de trabalho com sistemas RTK incluídos no próprio VANT, no sentido de melhorar a qualidade posicional e dispensar a necessidade de pontos de controlo no solo.

As imagens aéreas obtidas foram posteriormente processadas em software SIG (Sistema de Informação Geográfica) e aplicadas técnicas de fotogrametria e modelação 3D através de aplicações destinadas a este tipo de processamento, tal como o AgiSoft Metashape.

Com base nos MDS e ortomosaicos RGB produzidos, foram realizadas análises comparativas entre levantamentos diferenciados temporalmente, através da interpretação de perfis e do cálculo de variações do volume de sedimentos com recurso ao software QGIS (Fig. 1a). Os ortomosaicos, devido à elevada resolução, permitiram ainda delimitar linhas de vegetação para determinação de taxas de avanço ou recuo da linha de costa (Fig. 1b). Para alguns sectores,

foram realizadas análises comparativas e cálculos de avanço e recuo para longos períodos com recurso a fotografia aérea mais antiga.

Os vários sectores costeiros estudados apresentam características dinâmicas específicas. A existência de estruturas artificiais é determinante na dinâmica local, em função da deriva litoral com sentido N-S que caracteriza a costa ocidental de Portugal Continental.

Esta orientação é, por vezes, modificada devido à difração das ondas provocada pela configuração e posicionamento de estruturas artificiais (espórões e molhes) ou naturais (por exemplo, a ínsua de Caminha). De um modo geral, a erosão típica decorrente da agitação marítima leva a maiores perdas no Outono-Inverno, compensadas por alguma recuperação nos meses de Primavera-Verão.

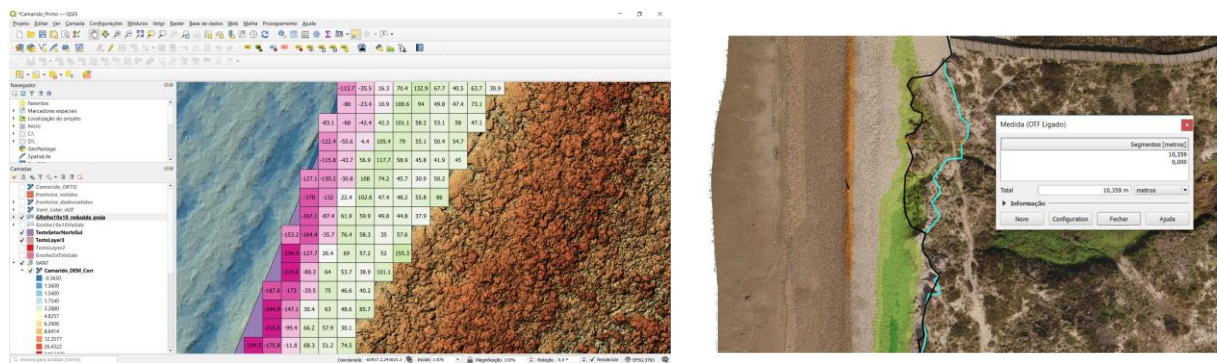


Fig. 1. Processamento de fotografia aérea e MDS (modelos digitais de superfície) obtidos com VANT (veículos aéreos não tripulados) de sectores do litoral norte de Portugal Continental no software QGIS: a) representação do volume (em m³) de sedimento ganho (a verde) e perdido (a rosa) num sector da praia de Camarido (Caminha), entre outubro de 2018 e outubro de 2020; b) representação da variação (em metros) da linha de vegetação, entre novembro de 2016 (a preto) e novembro de 2017 (a azul), com perda de mais de 10 metros nesse período.

Referências

- Correia, J. (2020). Evolução recente da dinâmica costeira no sector Cabedelo-Amorosa (Viana do Castelo). Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Braga.
- Gomes, A.M. (2018a). Monitorização e modelação da morfodinâmica costeira através de veículos aéreos não tripulados (VANT): Casos de estudo nas praias de Belinho, Fieiro Alto e Cepães. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Braga.
- Gomes, P. (2018b). Evolução recente da dinâmica costeira no sector de Ofir (Esposende). Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Braga.
- Maia J.P. (2021). Evolução recente da dinâmica costeira no sector Afife-Arda (Viana do Castelo). Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Braga.
- Peixoto, P. (2017). Monitorização e modelação da morfodinâmica costeira através de veículos aéreos não tripulados (VANTS): Casos de estudo em zonas costeiras de Portugal. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Braga.
- Silva J. (2022). Evolução Recente da Dinâmica Costeira da Praia do Camarido à Praia de Moledo. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Braga.

Conhecimento da evolução da Arriba Fóssil da Costa de Caparica para o estabelecimento de modelo de monitorização

Knowledge of the Costa de Caparica Fossil Cliff for the construction of a monitoring model

J. C. Kullberg (1,2), P. Lamas (1), C. Galhano (1,2), P. Sá (1) e T. Malho (1)

(1) Departamento Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica, jck@fct.unl.pt

(2) GeoBioTec - polo FCT, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica.

Summary: *The Costa da Caparica Fossil Cliff, approximately vertical, has in fact been active due to erosion acting on different lithological units and also on sub vertical planar fractures. The aim of this work is to investigate the evolution of this cliff over the last 60 years, using remote sensing tools to produce 3D models derived from aerial photogrammetry and modern georeferencing, and UAV equipment in order to determine several parameters related to the safety of the users and the regional planning and management.*

Key words: *Costa de Caparica Fossil Cliff, structural analysis, remote sensing, 3D models, cliff evolution*

Palavras-chave: Arriba Fóssil da Costa de Caparica, análise estrutural, deteção remota, modelos 3D, evolução da arriba.

Introdução

Por razões que não referem ao objectivo central deste trabalho, num voo realizado por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT, vulgo drone) institucional, foi perccionado, com grande pormenor, o efeito dos mecanismos que controlam a evolução morfológica da Arriba Fóssil da Costa de Caparica.

De facto, o processamento das imagens recolhidas com câmara RGB de 20Mpx, com recurso a software de fotogrametria e modelação 3D (*Agisoft Metashape v. 1.7, 64 bits*) pôs em evidência o controle da geometria da arriba por dois sistemas de fraturas. Os lisos de falha expostos, relativos a deslizamentos de blocos e consequente recuo da arriba, são praticamente impossíveis de detetar de outra forma uma vez que o acesso à proximidade da crista da arriba para visualização de cima para baixo é perigoso e a aproximação da arriba pelo seu sopé, extremamente difícil pela inclinação e desagregação do substrato, bem como a ocupação densa de coberto vegetal (Fig. 1).

A partir de um estudo pormenorizado de falhas medidas na zona da Fonte da Telha, 2 a 3 km a sul da área até à data levantada, Cabral *et al.* (1984) identificaram duas famílias de falhas consideradas de segunda ordem, cinematicamente inversas, com orientações médias WNW-ESE e N-S, consideradas como estruturas resultantes de movimentos “geometricamente necessários”, associados a “um acidente em profundidade localizado ao longo do bordo SE do canhão submarino de Lisboa”, de idade quaternária.

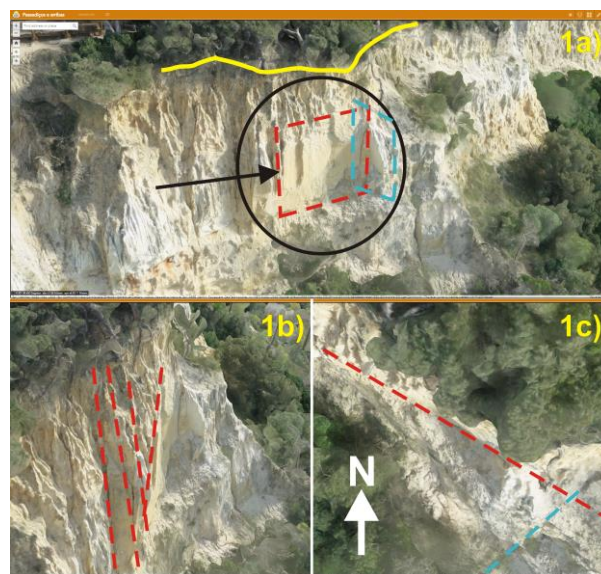


Fig. 1. Vistas da Arriba Fóssil da Costa de Caparica onde se observam “lisos de fraturas”; modelo 3D a partir de imagens obtidas com VANT; coordenadas: 38°35'59.58"N; 09°12'4.53"W, datum WGS84. **a)** o círculo realça os distemas mais detalhados em **b)** e **c)**; a seta assinala o que se observa na figura **b)** e a orientação do ponto de vista; o amarelo realça da crista da arriba, tracejado vermelho representação, em perspectiva, do “liso” com direção N60°W e a azul com direção N50°E. **b)** Pormenor referido em **a)**, com interpretação simplificada da família N60°W, vista de perfil; **c)** Idem, vista na vertical, mantendo-o código das cores.

Lamas e Carvalho (2005), efetuaram estudo sobre os mecanismos de rotura na mesma unidade geomorfológica, consequente de um grande deslizamento, ocorrido a norte da sua interseção com a via rápida IC20, concluindo, a partir de retroanálise, sobre a

ocorrência, quer de movimentos por tombamento por subescavação resultante de erosão interna, quer por corte de seções do maciço nas unidades superiores carbonatadas, mais resistentes. Outra conclusão tem a ver com a avaliação, também por retroanálise, em cerca de 2 cm/ano, do recuo da crista da arriba, taxa medida num trecho de escarpa com mais de 1470 m de extensão e para um período de cerca de meio século.

Publicações sobre esta unidade geomorfológica são escassas e os resultados citados, se bem que aparentemente contraditórios quanto aos mecanismos e evolução da arriba, são de facto complementares; bastantes aspetos ficam ainda por analisar com maior profundidade e extensão, o que leva à necessidade de um conhecimento mais abrangente e detalhado, beneficiando da tecnologia e metodologias mais recentes, algumas inéditas.

Metodologia

Para poder-se analisar a evolução do recuo da arriba, é necessário recorrer a informação geográfica fidedigna, no caso fotografias aéreas de voos antigos, com escalas grandes. Foram adquiridas fotografias com sobreposição de 60%, digitalizadas pela Direção-Geral do Território a 1200 dpi, a partir das películas originais (portanto não georreferenciadas) dos voos:

- 1964 (USAF) com escala aproximada de 1/7000 e com dimensão do pixel de cerca de 12,5 cm;
- 1995 (FAP) com escala aprox. 1/8000 e com dimensão do pixel de cerca de 14,0 cm.

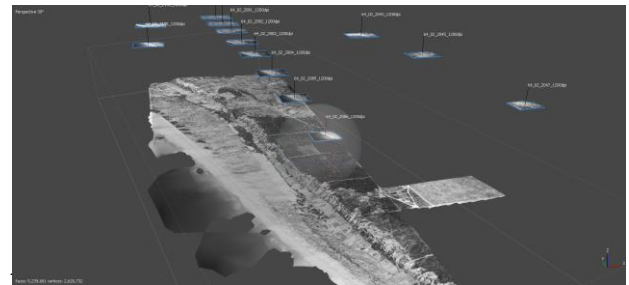
Foram produzidos os modelos 3D com a utilização do software *Agisoft Metashape* para testar a possibilidade de construção de um 3D para a execução de operações paralelas aos dos voos com VANT (Fig. 2). O resultado é promissor, dependente de um posicionamento rigoroso, através do reconhecimento de *Ground Control Points* (GCP's) nas duas séries de fotografias aéreas (1964, 1995) e atuais, para medição com GPS de alta resolução (GNSS SP60 GIS) comuns aos escolhidos para a realização dos voos de VANT. Desta forma, será possível traçar, em SIG, a linha exacta das cristas (*Cliff tip toe*) e comparar entre os 3 conjuntos 3D ao longo do tempo, com intervalo máximo de 59 anos e voo a meio

Agradecimentos: A realização dos trabalhos de campo são apoiados pelo projeto UIDP/04035/2020 (GeoBioTec) e a aquisição e processamento de imagens de VANT utilizando os recursos do Laboratório de Deteção Remota do DCT-FCTNOVA.

Referências

- Cabral, J., Dias, R.P. & Brum, A. (1984). Estudo de falhas afectando formações plio-quadernárias na zona da Fonte da Telha (Península de Setúbal). *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 70 (1), 83-91.
- Gao, B., Li, D., Li, L., Chen, L. & Yang, Z. (2021). Analysis and visualization of blocks stability in rock slope based on UAV technology: a case study of Shenxianju. *Episodes*, 45 (4), 391-402.
- Lamas, P. & Carvalho, J.A. (2005). Mecanismos de rotura no extremo norte da Arriba Fóssil da Costa de Caparica. *Geotecnia*, 104, 3-15.

deste intervalo. A diferença de resolução do pixel (aprox. 13cm para as fotografias e de 1 cm para as imagens atuais), para a finalidade deste estudo não é obstáculo, uma vez que, se assumirmos um recuo médio anual de 2,0 cm, num intervalo de 60 anos, o total será da ordem de 120 cm, muito acima do erro das fotografias.



software de modelação.

Nos levantamentos finais de VANT (com o modelo Matrice 300 RTK com câmara RGB de 43Mpx) é utilizado sensor LiDAR para uma maior precisão e eliminação (tentativamente) da vegetação. Das faces lisas resultantes de fraturas frescas será possível obter diagramas de roseta para análise estrutural da orientação de famílias de fraturas e, com a resolução possível de atingir, a verificação de eventuais rejeitos, utilizando o método preconizado por Gao *et al.* (2021).

Conclusões

Uma vez que todos os dados são comparados entre camadas de Sistemas de Informação Geográfica, diversos *outputs* são expectáveis como: a) a determinação e localização de troços com diferentes recuos; b) o cálculo de volumes de terras movimentadas; c) a caracterização dos mecanismos ativos na evolução da arriba; d) a produção de carta de risco com a demonstração da necessidade de monitorização; e) a evolução da ocupação dos solos; f) a eficácia das medidas de contenção das dunas litorais; e g) as consequências, no que refere à área envolvente à crista, de medidas de ordenamento do território antes e após a classificação da área como Área Protegida (1984).

Assessment of the geomorphological diversity indices of Portugal mainland

Avaliação de índices de diversidade geomorfológica de Portugal Continental

C. Lopes (1), P. Pereira (1), Z. Teixeira (2) and D. I. Pereira (1)

(1) Institute of Earth Sciences, Pole of the University of Minho, Braga, Portugal, catas.lopes@gmail.com

(2) MARE - Marine and Environmental Sciences Centre, University of Coimbra, Portugal

Sumário: *Apresentam-se os resultados da avaliação de diversidade, riqueza e equitabilidade geomorfológica de Portugal continental, baseada em 4 níveis hierárquicos de unidades geomorfológicas de Portugal Continental. Os índices foram calculados numa grelha analítica hexagonal, testando-se oito dimensões de células (1 km, 2 km, 5 km, 10 km, 15 km, 20 km, 25 km e 30 km). A dimensão de 10 km forneceu uma definição mais clara das especificidades geomorfológicas regionais, as quais correspondem às áreas de maior diversidade e riqueza. Os resultados relativos à equitabilidade não permitiram estabelecer relações tão claras com as unidades geomorfológicas. Estes resultados fazem parte da avaliação da geodiversidade de Portugal e são fundamentais para análises comparativas entre os vários elementos da geodiversidade e com outros elementos naturais e culturais.*

Palavras-chave: *geodiversidade, unidades geomorfológicas, índices de diversidade, grelhas, avaliação quantitativa*

Key words: *geodiversity, geomorphology units, diversity indices, grid system, quantitative assessment*

Geodiversity is often defined as the abiotic equivalent of biodiversity, describing the variety of geological, geomorphological, pedological and hydrological features and processes (Gray, 2013). The importance of capture the spatial patterns of geodiversity, as well as its relationship with biodiversity has been highlighted by several authors, given the value this knowledge can bring to land use management and environmental strategies. Pereira et. al. (2013) popularized the geodiversity index mapping based on the grid system, which is among the most used quantitative assessment method (Crisp et al., 2021). The index result from the sum of partial indices of geodiversity elements (lithology, geomorphology, hydrology, paedology), and may also embrace other abiotic elements, depending on the main goal of the research. The geodiversity index mapping corresponds to a direct quantitative method (Zwoliński et al., 2018), commonly used to determine the richness of the abiotic elements, i.e., the number of distinct classes of a map, within a certain area, measured in a predefined unit (unit cell within the grid system). However, richness corresponds solely to one of two primary components that form the concept of diversity, the other being the relative amount of each distinct class (Ibáñez and Brevik, 2022). Despite the increasing number of geodiversity assessments in the last years, there is a lack of studies that evaluate spatial diversity in a broaden way, either by extending richness assessment to other

existing indices, either by implementing new indices and new methodologies. Moreover, apart from the innovative geodiversity index based on kernel density developed by Forte et al. (2018) tested at a local scale (Mafra municipality) and the richness geodiversity index presented by Peixoto (2021) at a national scale, there are no significant geodiversity studies applied to Portuguese territory.

The results here presented are part of a work that establishes an empirical methodology to select the most appropriate cell size to assess geodiversity, while using the grid system to calculate the geodiversity index. Besides richness, Simpsons' and Shannon's diversity and equity indices were applied to the geomorphological units map of mainland Portugal (Pereira et al., 2014), by using a hexagonal analytical grid, through eight cell dimensions (1 km, 2 km, 5 km, 10 km, 15 km, 20 km, 25 km and 30 km). The effect of cell size on the results was analysed. The regional geomorphological specificities are identifiable at a 5 km cell size, becoming clearer at a 10 km cell size, despite a certain loss of spatial differentiation due to the decrease in spatial resolution (Fig. 1). Above that dimension, most of the diversity and richness elements become more generalized and aggregated.

The results show that the areas with the highest diversity are linked to:

i) the second hierarchical level unit of Mountains and Plateaus of the NW, the third hierarchical level units of Serras de Peneda-Gerês, Atlantic Front of the NW Peninsular Mountains, Mirandela depression and NW Peninsular Detachment Basins, and NW Peninsular Push-up Reliefs and Plateau of Alijó-Moimenta;

ii) the transition between the first level units of Meso-Cenozoic Basins and Slightly deformed Meso-Cenozoic Basins and Iberian Massif, corresponding to part of the shear zone that separates Ossa-Morena Zone and Central-Iberian Zone;

iii) the Lusitanian Basin, specifically within the third level units of Estremadura Limestone Massif, part of Western Limestone Hills, Sicó-Alvaiázere Limestone Hills, and the Coastal Plains second level unit and the Nazaré-Peniche Coastal Plains third level unit;

iv) the Algarve Coastal Plains, particularly Western and Eastern Algarve Coast units, part of Plateaus of the Peninsular SW (second level), in particular within third level unit of Serras de Grândola-Caldeirão and Serra de Monchique, and in Algarve Basin (second level) within Algarve Limestone Hills.

These results are part of the geodiversity assessment of mainland Portugal and are key for analyses comparing different geodiversity elements and even relations with other natural and cultural features.

Acknowledgements: The authors would like to express their gratitude for the research provided by the European Social Fund (ESF) and FCT (Portuguese Foundation for Science and Technology) grant number UI/BD/150805/2020.

References

- Crisp, J.R., Ellison, J.C. & Fischer, A. (2021). Current trends and future directions in quantitative geodiversity assessment. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 45(4), 514-540.
- Gray, M., (2013). *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*. 2nd Ed., Wiley Blackwell, 512 pp.
- Ibáñez, J.J. & Brevik, E. (2022). Geodiversity Research at the Crossroads: Two Sides of the Same Coin. *Spanish Journal of Soil Science* 12, 10456.
- Pereira, D.I., Pereira, P., Brilha, J. & Santos, L. (2013). Geodiversity Assessment of Paraná State (Brazil): An Innovative Approach. *Environmental Management*, 52, 541-552.
- Pereira, D.I., Pereira, P., Santos, L., & Silva, J.M. (2014). Unidades Geomorfológicas de Portugal Continental. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 15(4), 4.
- Forte, J., Brilha, J., Pereira, D.I. & Nolasco, M. (2018). Kernel density applied to the quantitative assessment of geodiversity. *Geoheritage*, 10, 205-217.
- Peixoto, R. (2021). *Avaliação da Geodiversidade de Portugal Continental*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Braga, 78 pp.
- Zwoliński, Z., Najwer, A. & Giardino, M. (2018). Methods for assessing geodiversity. In: E. Reynard & J. Brilha (eds.) *Geoheritage: assessment, protection, and management*. Elsevier, 27-52.

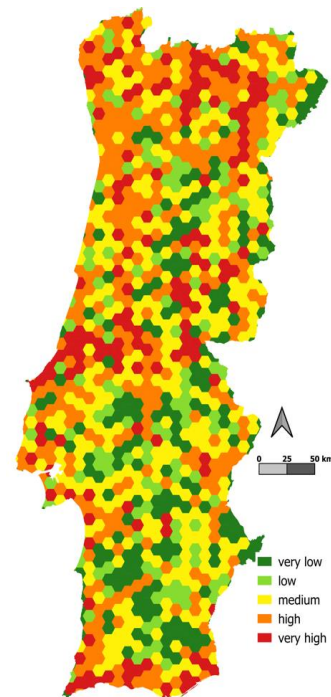


Fig. 1. Geomorphological diversity index of mainland Portugal. Based on Shannon's diversity index applied to the geomorphological units of mainland Portugal; measured with a cell size of 10 km; conventional diversity classes (very high, high, medium, low and very low) based on the Jenks natural breaks classification.

Utilização de LiDAR na identificação de vestígios glaciários na Serra da Peneda

Identifying glacial vestiges in Serra da Peneda (Portugal) using LiDAR

P. Pereira (1), R. Henriques (1) e D. I. Pereira (1)

Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, paolo@dct.uminho.pt

Summary: Airborne LiDAR data were used to detect glacial vestiges in Serra da Peneda (northern Portugal). A wide-range survey, with ground sampling distance of 60 cm/pixel served as basis for a DEM (digital elevation model) to analyze the whole area affected by glaciation. Proximity LiDAR surveys (ground sampling distance of 3.25 cm/pixel) in sectors covered with shrub vegetation were processed for the production of detailed DEMs. The results obtained show that some of the glacial vestiges are only detected with LiDAR, having identified moraine and erosion features not previously known, allowing a more accurate delimitation of the maximum extent of glaciation in Serra da Peneda.

Key words: remote sensing, LiDAR, moraines, digital elevation model

Palavras-chave: deteção remota, LiDAR, moreias, modelo digital de terreno

Vestígios geomorfológicos e sedimentológicos nas montanhas do noroeste de Portugal testemunham uma glaciação de baixa altitude e condicionada pela orientação das vertentes e pela precipitação. Estes vestígios foram caracterizados em vários trabalhos, destacando-se a sua cartografia e a delimitação da extensão da glaciação, principalmente na Serra do Gerês (Pereira e Pereira, 2020). Na Serra da Peneda, a reconstituição da glaciação não é tão consensual, sobretudo devido à maior escassez de vestígios. Em trabalhos anteriores (Coudé-Gaussen, 1979; Coudé *et al.*, 1983; Pereira *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2015) foram sobretudo identificadas geoformas de erosão e de acumulação, bem como vários tipos de *till*, com a descontinuidade espacial destes vestígios a sugerir diferentes episódios de glaciação.

Para se detalhar a extensão da glaciação na Serra da Peneda, foi realizada uma identificação de geoformas e depósitos glaciários e periglaciários, com base em levantamentos de campo e em análise de fotografia aérea. Procedeu-se também à obtenção e à análise de modelos digitais de terreno obtidos por LiDAR (*Light Detection and Ranging*), com o objetivo de se identificar eventuais vestígios não perceptíveis através de meios convencionais.

A tecnologia LiDAR permite medir distâncias com base no tempo entre a emissão e a receção de sinais laser (Dong e Chen, 2018). Sensores LiDAR aerotransportados podem efetuar essas medições com múltiplos registos por impulso emitido e têm vindo a ser usados para diversas finalidades por possibilitarem a penetração de sinais laser no coberto

vegetal e, assim, permitirem obter elevado detalhe do terreno.

Foram usados dados de um levantamento LiDAR contratado pela CIM (Comunidade Intermunicipal) do Alto Minho, efetuado em janeiro de 2018, com distância de amostragem no solo de 60 cm/pixel. Os dados de base foram processados utilizando-se as aplicações Agisoft Metashape (versão 1.84) e QGIS (versão 3.28). Foram produzidas imagens de contraste (Fig. 1b) e um MDT (Modelo Digital de Terreno) que permitiu a análise da totalidade da área afetada pela glaciação (Fig. 1c). Para uma caracterização mais detalhada, foram efetuados levantamentos LiDAR de proximidade em setores cobertos com vegetação arbustiva, utilizando-se o veículo aéreo não transportado (VANT) DJI Matrice 300 RTK montado com o LiDAR DJI ZENMUSE L1, com uma distância de amostragem no solo de 3,25 cm/pixel. Os dados do levantamento foram processados para a produção de vários MDT de pormenor (Fig. 1d).

Os resultados obtidos evidenciam que alguns dos vestígios glaciários apenas são detetados com LiDAR, tendo-se identificado cordões morénicos, cristas e superfícies de erosão não conhecidas anteriormente. No entanto, alguns elementos são mais facilmente identificados em fotografia aérea (por exemplo, moreias descobertas de vegetação ou blocos erráticos dispersos) ou no campo (por exemplo, geoformas erosivas de pormenor como estrias e polimentos). Foi também possível confirmar a existência de um pequeno vale glaciário na Branda da

Gêmea, bem como indícios de processos de nivacção a sul do maciço da Pedrada, correspondendo a pequenas línguas isoladas do glaciar principal.

O uso de LiDAR na deteção de geofomas glaciárias permitiu uma delimitação mais rigorosa da extensão máxima da cobertura glaciária na Serra da Peneda.

Estes dados, conjugados com observações de campo e de fotografia aérea e com datações absolutas da exposição cosmogénica de blocos morénicos (Pereira *et al.*, 2022), são fundamentais para a caracterização dos episódios de glaciação nas montanhas do norte de Portugal.

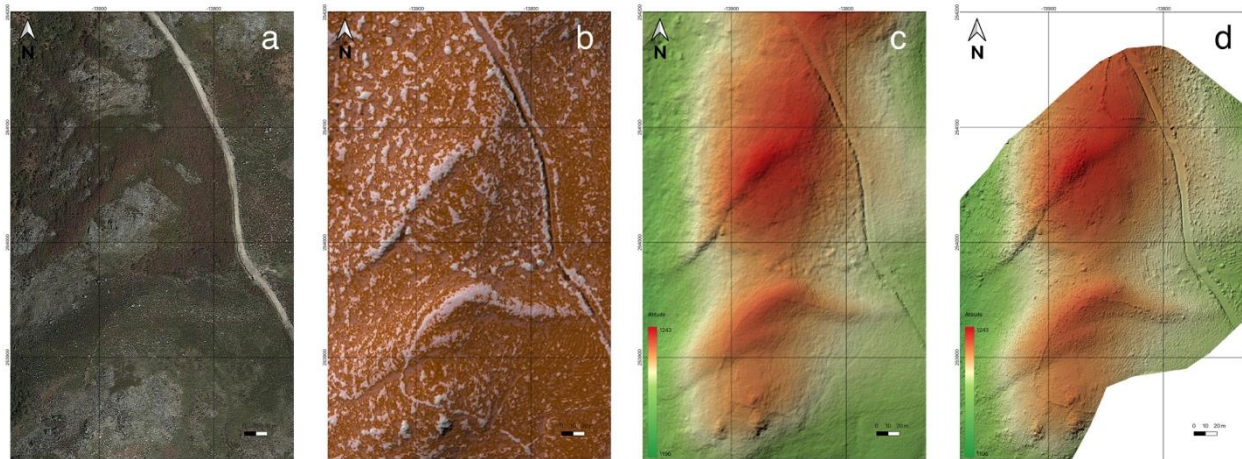


Fig. 1. Exemplo de processamento de dados LiDAR em moreias localizadas no sector do Maranho, na Serra da Peneda: a) fotografia aérea (Google Maps); b) modelo resultante de processamento em Agisoft Metashape (versão 1.84) e QGIS (versão 3.28), com contrastação de micro-relevos a partir do levantamento LiDAR CIM Alto Minho; c) Modelo digital de terreno (MDT) com base no levantamento LiDAR CIM Alto Minho (resolução de 60 cm/pixel); d) MDT com base em levantamento LiDAR de pormenor com VANT DJI Matrice 300 RTK e LiDAR DJI ZENMUSE L1 (resolução de 3,25 cm/pixel).

Agradecimentos: À CIM do Alto Minho pela possibilidade de utilização dos dados LiDAR e à empresa Firemap Lda. pela disponibilização do VANT DJI Matrice 300 RTK e LiDAR DJI ZENMUSE L1 para a realização deste trabalho.

Referências

- Coudé-Gaussen, G. (1979). Les Serras da Peneda et do Gerês (Minho-Portugal): Formes et formations d'origine froide en milieu granitique. Thèse 3^{ème} Cycle, Paris, 607 p.
- Coudé, A., Coudé-Gaussen, G., Daveau, S. (1983). Nouvelles observations sur la glaciation des montagnes du Nord-Ouest du Portugal. Cuadernos do Laboratório Xeolóxico de Laxe 5, 381-393.
- Dong, P, Chen, Q. (2018). LiDAR Remote Sensing and Applications, CRC Press, Boca Raton, 200 p.
- Pereira, P., Pereira, D.I., Casinhas, P. (2009). Novos dados sobre a glaciação no sector Gorbelas-Junqueira (Serra da Peneda). Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos 6, 101-106.
- Pereira, P., Pereira, D.I. (2020). The Granite and Glacial Landscapes of the Peneda-Gerês National Park. In Vieira G, Zêzere J, Mora C (Eds) Landscapes and Landforms of Portugal, Springer, 127-137.
- Pereira, P., Binnie, S., Dunai, T., Henriques, R., Pereira, D.I. (2022). On the age and extent of the Serra da Peneda glaciation, NW Portugal. X International Conference on Geomorphology Abstracts, Coimbra, ICG2022-605
- Santos, J., Santos-González, J., Redondo-Vega, J.M. (2015). Glacial Till-Fabric analysis and origin of late Quaternary moraines in the Serra da Peneda Mountains, NW Portugal. Physical Geography 36, 1-18

The multi-generational slump of Fajãzinha/Fajã Grande, Flores Island (Azores)

O escorregamento rotacional e multigeracional da Fajãzinha/Fajã Grande, Ilha das Flores (Açores)

R.S. Ramalho (1,2,3), M. Andrade (2,4), J. Madeira (2), R. Quartau (5,2), A. Pimentel (6,7), A. Hernandez (8), A. Rodrigues (5), G. Helffrich (9) and C. Thomas (10)

- (1) School of Earth and Environmental Sciences, Cardiff University, Cardiff, UK, ramalhor@cardiff.ac.uk
 (2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz (IDL), Lisboa, Portugal
 (3) Lamont-Doherty Earth Observatory (LDEO), Columbia University, Palisades, NY, USA
 (4) Geosciences Barcelona (Geo3BCN-CSIC), Barcelona, Spain
 (5) Instituto Hidrográfico, Divisão de Geologia Marinha, Lisboa, Portugal
 (6) Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), U. dos Açores, Ponta Delgada, Portugal
 (7) Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), Ponta Delgada, Portugal
 (8) Universidade da Coruña, GRICA Group, Centro Interdisciplinar de Química e Biología (CICA), A Coruña, Spain
 (9) Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan
 (10) Institut für Geophysik, WWU Münster, Münster, Germany

Sumário: A evolução geomorfológica de vulcões insulares é frequentemente pautada por movimentos de massa a diversas escalas espaciais e temporais. Tradicionalmente, a atenção da comunidade científica tem se focado nos grandes colapsos laterais, com planos de rotura profundos, e pouca atenção tem sido prestada a movimentos de menores dimensões e/ou com planos de rotura mais superficiais, resultando numa lacuna de conhecimento no que toca à sua génese e impactos. Este estudo foca-se num desses movimentos de massa: o escorregamento rotacional da Fajãzinha/Fajã Grande na Ilha das Flores. Observações de campo combinadas com análise de topografia e batimetria de alta resolução sugerem que este “slump” se deu em dois episódios principais, o primeiro de idade plistocénica e envolvendo $>1,75 \text{ km}^3$ e o segundo de idade holocénica, envolvendo $\sim 0,5 \text{ km}^3$. Este trabalho também atesta a existência de atividade eruptiva aproximadamente contemporânea do último colapso, sugerindo uma relação causal entre os dois fenómenos com importantes implicações em termos de perigosidade.

Palavras-chave: Ilha das Flores, Açores, movimentos de massa, escorregamento rotacional superficial, atividade vulcânica

Key words: Flores Island, Azores, mass wasting, shallow-seated slump, triggering by volcanic activity

The geomorphological evolution of ocean island volcanoes inexorably includes episodes of mass wasting at varying temporal and spatial scales, all of which have hazard implications (Ramalho et al., 2013). Traditionally, the scientific community has focused their attention either on deep-seated, large-scale gravitational flank collapses – which are very rare – or on small but recurrent landslides that act at human time scales. Little attention, however, has been given to intermediate and generally shallow-seated mass wasting episodes (with volumes ranging from several hundreds of cubic meters to a few cubic kilometres), for which little is known in terms of genesis and dynamics, let alone impacts. Moreover, shallow-seated slumps require unique mechanical and geological conditions to be triggered, and result in poorly understood events with a significant hazard potential including the generation of localised but very impactful tsunamis. This study focuses on one of

such examples – the Fajãzinha/Fajã Grande slump in Flores Island in the Azores – with the aim of better understanding the triggering mechanisms, timing, sequence of events, and impacts of this type of mass wasting.

The wide depression of Fajãzinha/Fajã Grande along the western shore of Flores Island is one of the most exotic geosites of the Azores Archipelago and was initially described as an old and uplifted embayment (Azevedo & Portugal Ferreira, 1999), with later interpretations ascribing this morphology to a multi-generational slump (Ramalho et al., 2013), which we here further explore. Based on a combination of detailed field mapping and geomorphological analysis of high-resolution topography and multi-beam bathymetry, our observations suggest that this slump was emplaced by two main collapse episodes, which we describe in detail.

The first episode consisted of a shallow-seated large rotational slump, extending approximately 5 km from the original collapse scar (~3 km from the present-day coastline) into the island shelf. The deposits of this initial collapse are clearly discernible in the bathymetry, exhibiting a hummocky morphology akin to the morphology observed on land, and extending down to 120 m of water depth (the shelf edge is locally at -180 m), thus suggesting a basal *décollement* surface at approximately 120 m below present-day sea level. A preliminary estimation of the volume of this slump suggests it to be >1.75 km³. The age is poorly constrained, but field relationships imply a timing of emplacement between 320 ka and ~3180 cal yr BP, respectively the ages of the youngest pre-collapse lava flows (Hildenbrand et al., 2018) and the products of the latest volcanic eruption on Flores (sourced at Lagoa Negra/Lagoa Comprida), which overlay the landslide deposit (Andrade et al., in review). In more detail, however, the timing of this collapse was probably closer to the lower bound than the upper bound of this age interval, as the collapse deposits already displayed a degraded morphology, characterized by an established drainage network and a wide marine shelf, with high coastal cliffs, when the lava-fed delta of Fajã Grande was emplaced at ~3180 cal yr BP (Andrade et al., in review).

The second episode was smaller and only affected the inner part of the head scar of the first collapse, involving a volume of approximately 0.5 km³. This event was also rotational, forming two sag ponds:

Lagoa do Poço do Ferreiro and Lagoa da Ladeira. The second collapse also involved episodes of debris avalanches and topples and was responsible for severing the connection between the lava delta of Fajã Grande and its probable source higher up in the central plateau, near Lagoa Negra/Lagoa Comprida. Moreover, as recently proposed by Andrade et al. (in review), this collapse was approximately contemporaneous to the last eruption on Flores, at ~3180 cal yr BP, raising the possibility for its gravitational instability to have been triggered by ground vibrations generated by the syn-eruptive seismic activity and/or the violent phreatomagmatic explosions of the final stages of the eruption, with clear hazard implications.

In summary, this study sheds light on the genesis, structure, and sequence of events that led to the formation of the Fajãzinha/Fajã Grande rotational slump, showing it was emplaced in two major episodes, one of which may have been triggered by volcanic activity. Moreover, the occurrence of a large, shallow-seated slump – with a basal *décollement* surface at the island shelf – also raises questions concerning the tsunamigenic potential of such events, that warrants further investigation. Finally, this study reinforces the importance of using high-resolution multi-beam bathymetry in the characterization of mass wasting events at ocean island volcanoes and brings to the fore the need for combined multi-hazard assessments.

Agradecimentos: This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through project PTDC/CTA-GEO/0798/2020 HAZARDOUS and through national funds (PIDDAC) – UIDB/50019/2020- IDL. Preliminary fieldwork was also supported by project TH1530/6-1 funded by DFG – The German Science Foundation. MA is funded by FCT through her doctoral grant (SFRH/BD/138261/2018). AH is funded by the Spanish Ministry of Science and Innovation through the Ramón y Cajal Scheme [RYC2020-029253-I].

Referências

- Andrade, M., Ramalho, R.S., Pimentel, A., Kutterolf, S., and Hernandez, A. (2023) The recent volcanism of Flores Island (Azores), Part II: stratigraphy and eruptive history of Comprida Volcanic System. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, in review.
- Azevedo, J.M.M. and Portugal Ferreira, M.R. (1999) Volcanic gaps and subaerial records of palaeo-sea-levels on Flores Island (Azores): tectonic and morphological implications. *Journal of Geodynamics*, 28(2-3), 117-129.
- Hildenbrand, A., Marques, F.O. and Catalão, J. (2018) Large-scale mass wasting on small volcanic islands revealed by the study of Flores Island (Azores). *Scientific Reports*, 8(1), 13898.
- Ramalho, R., Quartau, R., Trenhaile, A., Mitchell, N., Woodroffe, C., and Ávila, S. (2013) Coastal evolution on volcanic oceanic islands: a complex interplay between volcanism, erosion, sedimentation, sea-level change and biogenic production. *Earth-Science Reviews*, 127, 140-170.

A zona costeira de Portugal Continental: um território de risco, complexidade e diversidade

The coastal zone of mainland Portugal: a territory of risk, complexity and diversity

A.O. Tavares (1), J.L. Barros (2) e P. Freire (3)

(1) Departamento de Ciências da Terra e Centro de Estudos Sociais, Universidade de Coimbra

(2) Centro de Estudos Sociais, Universidade de Coimbra, leandrobarros@ces.uc.pt

(3) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa

Summary: *Mainland Portugal presents an extensive, diversified and complex coastal zone. This diversity gives rise to diverse geologic, geomorphologic and morphologic features which support different densities of human occupancy and a range of land uses and activities. The increasing anthropic occupation of the coastal zone in the last seven decades led to a conflict with the natural dynamics of these areas. In the last decades, the coast of mainland Portugal has often been affected by overtopping and coastal flooding processes. Based on the division of the coastal zone into three main distinct typologies (low sandy coast, cliff coast and transitional coast), the aim of this work is to understand the impacts resulting from coastal floods and overtopping between 1980 and 2018 affecting the different typologies. The results highlight occurrences related to low sandy and transitional coasts, and make possible to identify and differentiate impacts on the different coastal typologies.*

Key words: *Coastal zone, Coastal flooding, Database, Typologies, Losses and damages*

Palavras-chave: Zona costeira, Inundação costeira, Base de dados, Tipologias, Perdas e danos

A zona costeira de Portugal Continental caracteriza-se pelas suas complexidade e diversidade litológica, morfológica, biológica e paisagística. Salienta-se ainda, a existência de uma diversidade de sistemas morfossedimentares tais como estuários, lagoas, ilhas barreira, praias, dunas e arribas (Ponte Lira et al., 2016). Acrescem ainda diferenças significativas relacionadas com o regime de agitação marítima entre a costa oeste, mais energética e com maior capacidade de transporte sedimentar, e a costa sul, com um regime de agitação mais moderado (Ferreira e Matias, 2013).

Para além das questões físicas referidas anteriormente, realça-se a crescente pressão antrópica sobre a zona costeira nas últimas sete décadas (1950-2020). Esta pressão traduz-se em elevada densidade populacional, diversidade de atividades económicas, usos e ocupações de solo distintas que transformam esta zona numa área de grande valor estratégico nacional.

Salienta-se também que a zona costeira continental é uma área sujeita a múltiplos riscos associados a galgamento, inundação e erosão costeira que tenderão a aumentar face à subida do nível médio do mar. De modo a defender este território único, têm

sidido realizadas inúmeras intervenções de proteção costeira, que contribuem para que atualmente cerca de 14% da costa esteja artificializada por estruturas de proteção.

O presente trabalho pretende analisar e compreender as similaridades e singularidades relacionadas com a ocorrência de inundações e galgamentos costeiros, perdas e danos associados e a diversidade e complexidade geológica e morfológica existente na zona costeira. A avaliação das ocorrências de inundações e galgamentos costeiros, e seus impactos (perdas e danos), baseou-se numa base de dados desenvolvida por Tavares et al. (2021) que identificou um total de 645 ocorrências e 1645 perdas e danos entre 1980 e 2018 (Figura 1). A base de dados identifica e analisa inundações e galgamentos costeiros com recurso à análise hemerográfica de jornais nacionais e regionais, complementada com a análise de relatórios técnicos e documentos científicos, bem como com dados *hindcast* (Fortunato et al., 2016) de condições oceanográficas para o período em causa. Perante a complexidade e a heterogeneidade da área de estudo, a zona costeira foi dividida em diferentes tipologias, tendo por base o trabalho de Dinis e Tavares (2005), com as devidas adaptações ao

presente trabalho. Diferenciaram-se assim zonas de costa baixa arenosa, de transição (estuários, lagunas, portos marítimos), de arriba coesiva, mista (constituídas por alternância ou sobreposição de litologias coesivas e não coesivas, ou por litologias coesivas com um grau elevado de alteração) e não coesiva (litologias clásticas com nula ou reduzida cimentação, margas ou rochas ígneas muito alteradas) (Figura 1). A separação entre arribas altas e baixas situa-se na cota altimétrica de 25 m.

A análise permite identificar que a maioria (71%) das ocorrências e impactos surgem nas tipologias costeiras associadas a costas baixas e arenosas (38%) e em áreas costeiras de transição (33%). Os resultados permitem salientar também as singularidades associadas aos diferentes impactos (perdas e danos) quando relacionados com as diferentes tipologias. As perdas humanas ocorrem exclusivamente em costas baixas arenosas, de transição, mas também associadas a arribas coesivas baixas. Os danos, relacionados com o sistema natural, degradação ambiental e áreas públicas são transversais a todas as tipologias costeiras. Destaca-se ainda a relevância dos danos em infraestruturas, nomeadamente de proteção costeira, nas áreas de tipologias de costa baixa arenosa, de transição e de arriba mista baixa, e dos danos em edifícios em todas

as tipologias, com excepção da costa com arriba não coesiva alta.



Fig. 1. Tipologia geológica e morfológica da costa continental portuguesa

Agradecimentos: O projeto MOSAIC.pt (PTDC/CTA-AMB/28909/2017) é financiado por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT).

Referências

- Dinis, J. & Tavares, A.O. (2005). Susceptibilidade geomorfológica da costa ocidental portuguesa a tsunamis. In III Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa - Perspectivas de Gestão e Sustentabilidade da Zona Costeira, 5-8.
- Ferreira, O. & Matias, A. (2013). Portugal, In: E. Pranzini & A. Williams (eds.). *Coastal Erosion and Protection in Europe*. Routledge, 275-293.
- Fortunato, A.B., Li, K., Bertin, X., Rodrigues, M. & Miguez, B.M. (2016). Determination of extreme sea levels along the Iberian Atlantic coast. *Ocean Engineering*, 111(1), 471-482.
- Ponte Lira, C., Nobre Silva, A., Taborda, R. & Freire de Andrade, C. (2016). Coastline evolution of Portuguese low-lying sandy coast in the last 50 years: an integrated approach. *Earth System Science Data*, 8(1), 265-278.
- Santos, F.D., Lopes, A.M., Moniz, G., Ramos, L. & Taborda, R. (2017). Grupo de Trabalho do Litoral: Gestão da Zona Costeira: O desafio da mudança. F.D. Santos, G. Penha-Lopes & A.M. Lopes (eds.). 396 pp.
- Tavares, A.O., Barros, J.L., Freire, P., Santos, P.P., Perdiz, L., & Fortunato, A.B. (2021). A coastal flooding database from 1980 to 2018 for the continental Portuguese coastal zone. *Applied Geography*, 135, 102534.

SESSÃO CIENTÍFICA 3 (SC_3)
(Paleontologia)

Conveners: Pedro Callapez; Paulo Legoinha

Aplicação de métodos *Machine Learning* no reconhecimento automático de dinoflagelados: caso de estudo para a espécie *Batioladinium longicornutum*

Machine Learning applied to recognition of Dinoflagellate cysts: type study with the species *Batioladinium longicornutum*

B. Agbulut (1, 2), A. Sanches (3), M. Vieira (3, 4) e L. Castro (1, 3)

(1) Departamento Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica (Portugal); aos.sanches@gmail.com

(2) Eurasia Natural History Association, Tepealti, Coşkun Sk. No:147, 06170, Yenimahalle, Ankara (Türkiye)

(3) GeoBioTec - polo FCT, Universidade NOVA de Lisboa, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica (Portugal)

(4) Aker BP ASA, Strandveien 4, 1366 Lysaker, Oslo (Norway)

Summary: This study evaluated the application of deep learning methods to automatic detection of dinoflagellate cysts, using the species *Batioladinium longicornutum* as an example. A dataset of 1453 images was collected to train three independent models using the Tensorflow library, in Python. The models, based on a convolutional neural network (CNN) architecture, were validated with a separate test dataset. Three different approaches were used to label the images, namely: (i) *B. longicornutum* and other species; (ii) complete body specimens and fragmentary specimens; (iii) body/apical horn/antapical horns. The methodology used separated CNN for each model, which reduced the number of parameters and the computational cost, while maintaining accuracy, allowing for a smaller model size and faster inference time compared to traditional CNNs. The study demonstrated effective classification of *B. longicornutum*, showing the potential for deep learning applications in the dinoflagellate cysts detection.

Key words: artificial intelligence, machine learning, dinoflagellate cysts, palynology, automatic object detection

Palavras-chave: inteligência artificial, aprendizagem de máquinas, quistos de dinoflagelados, palinologia, deteção automática de objetos

A recente expansão das técnicas de inteligência artificial e *machine learning* facilitou a sua ampla adoção pela maioria das áreas científicas. A identificação manual das espécies é um processo demorado e sujeito a erros e, com os recentes avanços, torna-se possível automatizar e melhorar a sua precisão, motivando os geocientistas a utilizar estas tecnologias com maior facilidade.

Neste estudo, pretende-se avaliar a aplicação de técnicas de *deep learning* para a deteção e reconhecimento automático de quistos de dinoflagelados, de uma espécie específica, *Batioladinium longicornutum*, mais precisamente com o objetivo de estudar a aplicabilidade das redes neurais convolucionais (CNN), na classificação de espécies.

Existem vários estudos que já demonstraram que estas técnicas são eficazes no reconhecimento de dinoquistos, em diferentes suportes (e.g., Gonçalves *et al.*, 2016; Carlson *et al.*, 2022; Gorur *et al.*, 2022; Viertel & König, 2022).

No âmbito deste estudo, foram estudadas 10 amostras de uma sondagem realizada no Mar do Norte (Noruega) e registadas 1453 imagens de

quistos de várias espécies de dinoflagelados em microscópio ótico. As imagens foram utilizadas como *input* no treino dos modelos, implementados em Python, com recurso à biblioteca Tensorflow. Os modelos baseiam-se numa arquitetura CNN.

Em termos metodológicos (Fig. 1), o estudo procedeu-se em três fases: (i) processamento e classificação das imagens; (ii) treino dos modelos; (iii) construção e validação do modelo de previsão.

As imagens foram pré-classificadas, tendo sido diferenciadas entre *B. longicornutum* e outras espécies, com recurso a um algoritmo de *labeling* específico para aplicações de métodos de inteligência artificial. Para aumentar a precisão e detalhe do estudo, o primeiro conjunto de imagens foi sujeito a outras duas etapas de classificação. A segunda etapa distingue o corpo dos espécimes entre completo e fragmentado, enquanto a terceira etapa se concentra em características específicas, como o corpo, o corno apical e os cornos antapicais.

O treino dos modelos, realizou-se em três etapas, resultando cada etapa num modelo distinto de deteção. Todos os modelos são treinados com base num modelo pré-treinado do tipo ‘mobilenet’, que

reduz as imagens a uma resolução de 320x320, e as propaga pela sua estrutura, durante 2000 ciclos de aprendizagem.

A 1ª etapa de treino resulta num modelo que deteta, na imagem, a área correspondente a um palinomorfo e classifica-a entre *B. longicornutum* e outra espécie. A 2ª etapa de treino resulta, por sua vez, numa avaliação da qualidade da preservação do espécime *B. longicornutum*, classificando-o em “Completo” ou “Fragmentado”. O último modelo, foca-se na identificação das características específicas do espécime na imagem.

O sistema de previsão foi construído de forma que os últimos dois modelos treinados, sejam aplicados em função do resultado do primeiro.

A aplicação de arquiteturas CNN separadas, permitiu reduzir o número de parâmetros e cálculos, mantendo a precisão, o que resulta num custo computacional e de tempo menores, comparativamente a uma CNN integrada.

Os resultados preliminares de testes efetuados à rede, mostram uma classificação eficaz de *B. longicornutum* e das suas características específicas.

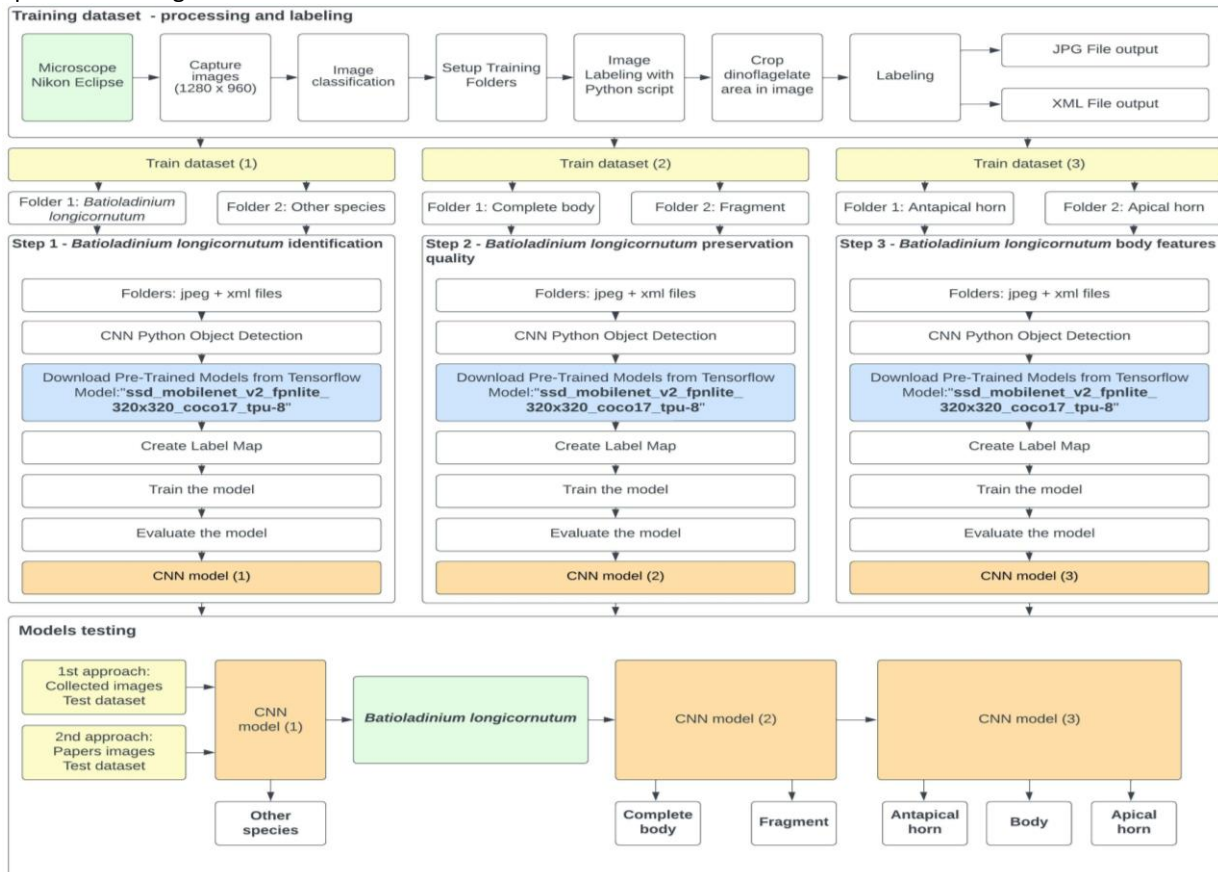


Fig. 1. Esquema sistemático das fases desenvolvidas na metodologia.

Agradecimentos: Estudo apoiado pela Aker BP, com a cedência de amostras e a ajuda no tratamento laboratorial.

Referências

- Carlsson, V., Danelian, T., Boulet, P., Devienne, P., Laforge, A. & Renaudie, J. (2022). Artificial intelligence applied to the classification of eight middle Eocene species of the genus *Podocyrtes* (polycystine radiolaria). *Journal of Micropalaeontology*, 41(2), 165-182.
- Gonçalves, A.B., Souza, J.S., Da Silva, G.G., Cereda, M.P., Pott, A., Naka, M.H. & Pistori, H. (2016). Feature extraction and machine learning for the classification of Brazilian Savannah pollen grains. *PLOS ONE*, 11(6), 1-20.
- Gorur, K., Kaya Ozer, C., Ozer, I., Can Karaca, A., Cetin, O. & Kocak, I. (2023). Species-Level Microfossil Prediction for *Globotruncana* genus Using Machine Learning Models. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48, 1315-1332.
- Viertel, P. & König, M. (2022). Pattern recognition methodologies for pollen grain image classification: a survey. *Machine Vision and Applications*, 33(1), 1-19.

Preliminary palynostratigraphy results from the Lower Cretaceous Munk Marl Bed (North Sea, Norway)

Resultados preliminares de palinostratigrafia do “Munk Marl Bed” do Cretácico Inferior (Mar do Norte, Noruega)

B. Agbulut (1,2), M. Vieira (3, 4) and L. Castro (1, 3*)

(1) Departamento Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica (Portugal). * lscastro@fct.unl.pt

(2) Eurasia Natural History Association, Tepealti, Coşkun Sk. No:147, 06170, Yenimahalle, Ankara (Türkiye)

(3) GeoBioTec - polo FCT, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica (Portugal)

(4) Aker BP ASA, Strandveien 4, 1366 Lysaker, Oslo (Norway)

Sumário: Fez-se o estudo de 19 amostras do Cretácico Inferior do campo petrolífero Utsira High do Mar do Norte (Noruega). A Formação dominante - Formação Åsgard, foi analisada usando a palinostratigrafia para identificar os principais palinóforos (principalmente quistos de dinoflagelados), que forneceram informações sobre a reconstrução paleoambiental e caracterizações biostratigráficas. A análise laboratorial das amostras revelou a presença de 14 táxones de pólenes e esporos e 17 géneros e 21 espécies de quistos de dinoflagelados. A identificação da espécie *Batioladinium longicornutum* como biomarcador, desempenhou um papel importante na biostratigrafia e auxiliou na resolução de intervalos estratigráficos e correlações com outras sondagens da região. A amostragem de alta resolução e a biostratigrafia foram essenciais para o avanço da compreensão da subsuperfície, particularmente porque o Munk Marl Bed não é facilmente definido em perfis de sondagens.

Palavras-chave: Palinologia, quistos de dinoflagelados, Cretácico Inferior, Estratigrafia

Key words: Palynology, dinoflagellate cysts, Lower Cretaceous, Stratigraphy

Marine sedimentary deposits offer unique opportunities for utilizing palynostratigraphy to characterize geological formations and achieve high resolution age-dating (Nohr-Hansen et al., 2020).

In this study, 19 core samples (nine of them poorly preserved) were selected and prepared from 1918 m to 1925 m of the 16/2-21 well (Geodetic datum ED50, NS degrees 58° 46' 40.76" N; EW degrees 2° 36' 38.77" E), to evaluate in detail an Early Cretaceous section from the Åsgard Fm. in the Utsira high area (North Sea, Norway). The examination and analysis of the palynofloral assemblage, including the identification of key diagnostic palynomorphs and their stratigraphic distribution in relation to an established reference zonation scheme, was conducted to infer the biostratigraphic and paleoenvironmental reconstruction of the studied section along the Åsgard Fm.

The subsurface geological framework of the area is characterized by a complex mix of sedimentary rocks, including sandstones, claystones, marls, and limestones. This study focused in the Lower Cretaceous which is defined in the region by the Kromer Knoll Group. This stratigraphic unit is subdivided into different formations based on their lithology, depositional environment, and fossil

content. In the Utsira High area comprises four formations: Åsgard (oldest), Tuxen, Rødby and Sola (youngest).

The Åsgard Fm. is mainly dominated by light to dark grey and brownish, often calcareous claystone, and passes to light greenish-grey marlstones and stringers of limestone. The Munk Marl is a condensed interval, part of the Åsgard Fm., composed by dark, laminated claystone facies believed to be of transgressive nature and represent a maximum flooding surface in some areas (Garrett et al., 2000).

The samples were submitted to the standard laboratory treatment by the company APT (Applied Petroleum Technology) in Oslo used for palynological studies: elimination of carbonates and silicates through chemical treatments (37 % HCl and 51-55 % HF) and the use of 15 µm and 125 µm sieves. Slides were mounted for observation under optical microscope. At least two slides have been observed for each sample depth. The palynomorphs have been analysed in order to identify the main groups such spores, pollen, acritarch's and dinoflagellate cysts (Leereveld, 1997).

A total of 1877 spores and pollen were counted, and 14 taxa have been identified. The baccates,

Deltoidospora, and *Dictyophyllidites* are the most abundant taxa across the studied the samples.

The dinoflagellate cyst fauna is composed by 17 genera and 21 species across the 1753 counted specimens. The most dominant dinoflagellate cysts are *Batioladinium longicornutum*, *Cribroperidinium edwardsii*, *Hystrichodinium pulchrum* and *Pseudoceratium pelliferum*. The index taxon *B. longicornutum* (Fig. 1) is the key marker species for the Middle Barremian-Late Hauterivian interval and plays an important role as a regional biostratigraphic marker. Only one taxon of acritarch (*Micrhystridium* sp.) was recorded through the upper part of the log.

The high-resolution sampling across the Munk Mark interval and the identification of this fossil assemblage provides additional insights to define this stratigraphic interval and allows the possibility of better correlation across other wells in the region. The Munk Marl is not always easy to define in wireline logs or composite well logs due to the similar or locally higher gamma marls, so the biostratigraphy plays an important role to help geologists understand the subsurface in higher detail (Dalseg et al., 2016; Oosting et al., 2006).



Fig. 1 – *Batioladinium longicornutum*, the key marker species for the Middle Barremian-Late Hauterivian interval (Sample 249162).

Acknowledgment: This study was supported by Aker BP with the provision of samples and help with laboratory treatment.

References

- Dalseg, T.S., Nakrem, H.A. & Smelror, M. (2016). Dinoflagellate cyst biostratigraphy , palynofacies , depositional environment and sequence stratigraphy of the Agardhfjellet Formation (Upper Jurassic-Lower Cretaceous) in central Spitsbergen (Arctic Norway). *Norwegian Journal of Geology*, 96(2), 119-133.
- Garrett, S.W., Atherton, T. & Hurst, A. (2000). Lower Cretaceous deep-water sandstone reservoirs of the UK Central North Sea. *Petroleum Geoscience*, 6, 231-240.
- Leereveld, H. (1997). Hauterivian-Barremian (Lower Cretaceous) dinoflagellate cyst stratigraphy of the western. *Cretaceous Research*, 18, 421-456.
- Nohr-Hansen, H., Piasecki, S. & Alsen, P. (2020). A Cretaceous dinoflagellate cyst zonation for NE Greenland. *Geological Magazine*, 157(10), 1658-1692.
- Oosting, A.M., Leereveld, H., Dickens, G.R., Henderson, R.A. & Brinkhuis, H. (2006). Correlation of Barremian-Aptian (mid-Cretaceous) dinoflagellate cyst assemblages between the Tethyan and Austral realms. *Cretaceous Research*, 27(6), 792-813.

A fauna de invertebrados “sub-fósseis” do sítio Islâmico de Ponta do Castelo (sécs. XII-XIII, Carrapateira, SO Portugal): revelações sobre a exploração e o consumo de recursos marinhos numa região costeira quase intocada pelo Homem

The “sub-fossil” invertebrate fauna of the Islamic site of Ponta do Castelo (12th-13th centuries, Carrapateira, SW Portugal): revelations about the exploitation and consumption of marine resources in a coastal region almost untouched by Man

P. M. Callapez (1,2*), R. V. Gomes (3), M. V. Gomes (3) e R. Pimentel (1)

(1) Universidade de Coimbra, CITEUC - Centro de investigação da Terra e do Espaço da Univ. Coimbra, FCTUC, Dep. Ciências da Terra da Univ. Coimbra, R. Sílvio Lima, Polo II, 3030-790 Coimbra. callapez@dct.uc.pt

(2) Grupo de Investigación Paleolbérica, Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, España.

(3) Universidade Nova de Lisboa, FCSH, Inst. Arqueologia e Paleociências, Av. Berna, 26-C, 1069-061 Lisboa.

Summary: *The Islamic site of Ponta do Castelo (12th-13th centuries) is located in a small promontory of Carrapateira (Aljezur, SW Portugal). This site yielded a large shell-midden with invertebrate shells, related to the activities of a seasonal fishing community. About 192 samples representative of 24,414 individuals and 51 species of edible molluscs and crustaceans have been studied. This fauna reveals the importance of the local biotopes for the exploitation and consumption of local shellfish, as well as food and cultural habits, during a period where this sector of the Portuguese coast was yet scarcely exploited.*

Key words: *Invertebrates, recollection, consumption, Islamic Epoch, Ponta do Castelo (SW Portugal)*

Palavras-chave: Invertebrados, recolção, consumo, Época Islâmica, Ponta do Castelo (SO Portugal)

A importância do consumo alimentar de marisco e a sua relação com a exploração de recursos marinhos em áreas costeiras do sudoeste do *Gharb al-Andalus* têm vindo a ser enfatizadas no decurso das duas últimas décadas, à medida que novas intervenções arqueológicas permitiram revelar espólios faunísticos com restos abundantes de invertebrados, em sítios islâmicos da Costa Vicentina e do Algarve.

Implantado sobre pequeno promontório da arriba ativa do Pontal da Carrapateira, no concelho de Aljezur, sudoeste de Portugal, o sítio islâmico de Ponta do Castelo (sécs. XII-XIII) forneceu importante espólio de invertebrados marinhos e terrestres, recolhido durante trabalhos arqueológicos dirigidos por Rosa Varela Gomes da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, os quais permitiram revelar vestígios de estruturas habitacionais de uma pequena comunidade piscatória sazonal (Gomes et al., 2001). As concentrações de concheiro estudadas, ligadas a estruturas de lareira e à exploração e consumo recorrentes do marisco local como recurso de subsistência, consistem, sobretudo, em restos esqueléticos desarticulados e fragmentados de moluscos bivalves e gastrópodes, incluindo caracóis terrestres, bem como de crustáceos cirrípedes, no total de 47 602 elementos amostrados. Estes estão distribuídos por 192 amostras representativas de 111 quadrículas e duas

camadas, às quais corresponde um número mínimo estimado de 24 414 indivíduos e 51 espécies. Predominam largamente espécies comestíveis da fauna local (Fig. 1): (1) burrié e caramujo (60,53%), com destaque para *Phorcus sauciatatus* (46,82%) e *P. lineatus* (12,97%); (2) cinco espécies de lapa (totalizando 13,51%), entre as quais *Patella depressa* (9,52%), *P. ulyssiponensis* (2,79%) e grandes espécimes de *P. vulgata* (0,66%); (3) mexilhão (6,78%), representado por *Mytilus galloprovincialis* (6,41%) e por indivíduos de grande porte de *Perna perna* (0,29%); (4) búzio e buzina (3,09%), ocorrendo sob a forma de numerosos espécimes de *Stramonita haemastoma* (2,97%) e, ainda que esporadicamente, *Charonia lampas* (0,07%); (5) perceve, ou *Pollicipes pollicipes* (2,96); e (6) caracol comum e caracoleta moura (13,13%), correspondentes a *Theba pisana* (2,48%) e *Otala lactea* (0,45%).

A recolção das espécies marinhas seria, sobretudo, de cariz local, efetuando-se em pontos mais acessíveis das arribas, ou ainda, por captura com redes ou outros aparatos de pesca. Algumas valvas perfuradas de *Pecten maximus* e de *Acanthocardia tuberculata*, assim como valvas grandes de *Glycymeris glycymeris*, teriam tido uso como pesos de pesca; outras ainda, como recipientes.

Na ecologia das espécies identificadas, predomina largamente a fauna bentónica de meio intermareal a

infralitoral superior, típica de substratos rochosos, a par de algumas outras adaptadas a substratos arenosos ou rochosos de maior profundidade. As espécies estuarinas ou lagunares são residuais.

Por fim, no significado biogeográfico do conjunto destacam-se espécies cuja proximidade dos seus limites de repartição evidência a importância da Costa Vicentina na transição e mistura de elementos termófilos, oeste-africanos, com outros de águas mais frias, mediterrânicas e noroeste-europeias. Destas, destaca-se a ocorrência de grandes espécimes de *Perna perna* na amostragem, à semelhança, aliás, do que se registou um pouco mais a Norte, em contexto consentâneo do Ribāt da Arrifana (Callapez, 2011). Trata-se de um mexilhão com caráter cosmopolita, hoje conhecido ao longo da costa oeste-africana nas Canárias e em Cabo Verde, como típico elemento termófilo da “fauna senegalesa”. A sua

ocorrência em áreas de arriba, menos acessíveis, da Costa Vicentina e do Barlavento Algarvio, bem como a de *Perna picta*, designação de provável subespécie de *P. perna* do Mediterrâneo ocidental), parece ser bastante rara na atualidade, limitando-se a raros espécimes recolhidos em Aljezur, Lagos e Quarteira. A presença deste “warm-guest” holocénico em Portugal e do seu limite setentrional de repartição biogeográfica têm vindo a ser confirmados, não só através do histórico de achados pontuais desde finais do século XIX, como também, pelo seu reconhecimento em espólios arqueológicos com cronologias desde o Neolítico Antigo. Os espécimes do sítio de Ponta do Castelo constituem, desta forma, uma descoberta que amplia o conhecimento histórico sobre a presença deste emblemático mexilhão comestível em águas europeias, possivelmente desde o aquecimento climático pós-wurmiano.

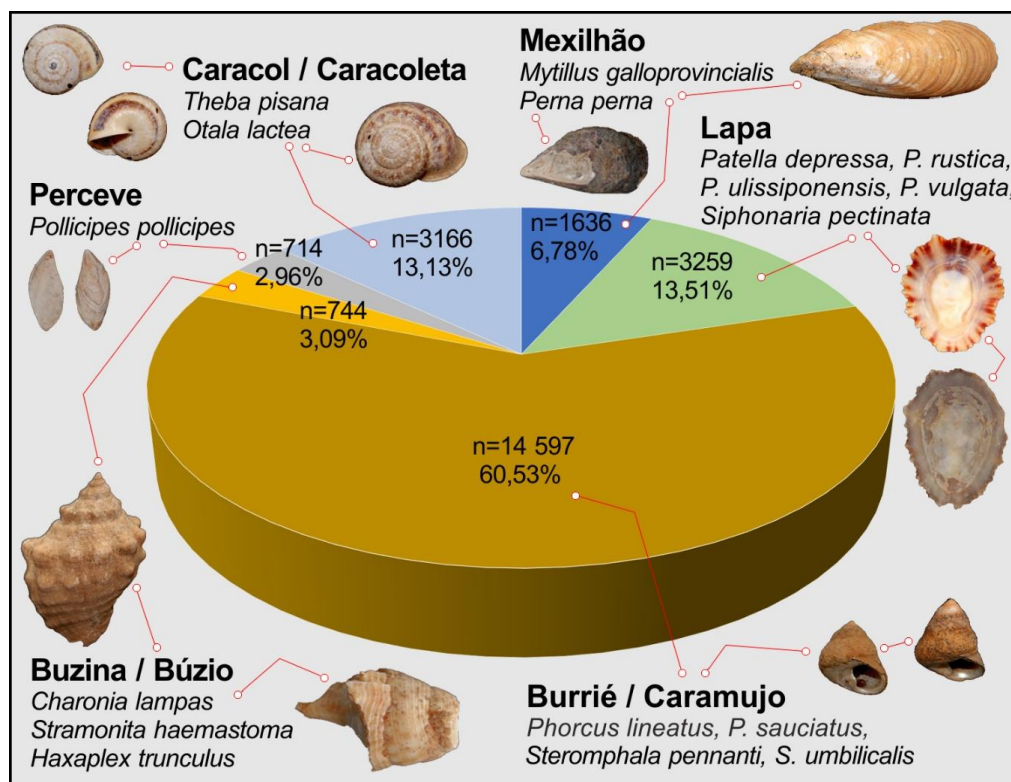


Fig. 1. Moluscos bivalves, gastrópodes e crustáceos comestíveis consumidos no sítio islâmico de Ponta do Castelo (Carrapateira, Aljezur, sudoeste de Portugal), representados por tipo de recurso em função dos totais do número mínimo de indivíduos contabilizados.

Agradecimentos: ao CITEUC pelo apoio no âmbito do projeto estratégico da FCT, UID/Multi/00611/2020.

Referências

- Callapez, P.M. (2011). Estudo zooarqueológico dos invertebrados do Ribāt da Arrifana (Aljezur, Portugal). Sua relação com as comunidades marinhas litorais e com hábitos alimentares no algarve muçulmano do século XII. In: R.V. Gomes, M.V. Gomes & C. Tente (eds.), *Cristãos e Muçulmanos na Idade Média Peninsular. Encontros e Desencontros*. Instituto de Arqueologia e Paleociências das Universidades Nova e do Algarve, 165-186.
- Gomes, R.V., Teixeira de Assunção, V. & Miranda, M.J. (2001). Povoado muçulmano na Ponta do Castelo (Aljezur). Notícia preliminar. *Almadan*, 10, 200-201.

Pegadas de megaterópodes na “Formação *Pholadomya protei*” (Oxfordiano superior), no Cabo Mondego (Bacia Lusitânica)

Megatheropods footprints from the “*Pholadomya protei* Formation” (upper Oxfordian), in the Cape Mondego (Lusitanian Basin)

I. S. Carvalho (1), P. P. Cunha (2) e S. D. Figueiredo (3)

- (1) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências. Centro de Geociências da Univ. Coimbra; ismar@geologia.ufrj.br
- (2) Universidade de Coimbra; MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente / ARNET – Rede de Investigação Aquática; Departamento de Ciências da Terra
- (3) Instituto Politécnico de Tomar; Centro Português de Geo-História e Pré-História, Centro de Geociências da Universidade de Coimbra

Summary: In the “*Pholadomya protei* Formation” (upper Oxfordian, Lusitanian Basin) ten dinosaur tracks were identified, preserved as true footprints on the bedding surface, natural cast infillings or as cross-section casts. They support interpretations concerning the cohesiveness patterns of the paleosurface based on the relationship between the footprints and the substrate consistency at the time of their formation. The footprints were produced mainly by theropod megalosaurid and ceratosaurids, on a substrate of fine to very fine sands and sandy marls, in a littoral environment associated with a delta. The succession records the paleogeographical context of the most western region of European Tethys Sea.

Key words: dinosaur footprints, “*Pholadomya protei* Formation”, Oxfordian, Lusitanian Basin, Megatheropods

Palavras-chave: pegadas de dinossauros, “Formação *Pholadomya protei*”, Oxfordiano, Bacia Lusitânica, Megaterópodes

Na Bacia Lusitânica (Portugal) têm-se encontrado pegadas de diversos grupos de dinossauros, nas sucessões do Jurássico e Cretácico (ex. Antunes, 1976; Santos et al., 2008; Figueiredo et al., 2022). As ocorrências jurássicas relacionam-se com uma distribuição paleogeográfica no contexto das áreas emersas e litorais do Mar de Tétis (ex. Bernardes, 1992; Avanzini et al., 1997; Azêredo et al., 2003; Razzolini et al., 2016), com vários afloramentos ao longo da atual costa atlântica.

Neste trabalho caracterizam-se dez pegadas de dinossauros terópodes, identificadas no topo da “Formação *Pholadomya protei*”, no Oxfordiano superior do Cabo Mondego (Figueira da Foz) (Pena dos Reis et al., 1996). O material icnológico encontra-se distribuído em duas camadas sucessivas, compostas por margas arenosas a arenitos finos; registam um ambiente litoral de planície de maré associado a um delta. As pegadas podem ser observadas na superfície das camadas ou em seção transversal, por vezes representando estruturas que deformam muito o substrato (Fig. 1). As pegadas observadas nestas duas camadas podem ser classificadas pela proposição de Cobos et al. (2014), como pertencentes ao icnogrupo 2, o qual

compreende morfotipos robustos (e.g., *Eutynichnium lusitanicum*), de grandes proporções. Tendo em consideração o registo fóssil de grandes terópodes do Jurássico Superior de Portugal, pensamos que os produtores destas pegadas poderão ter sido megalossaurídeos e/ou ceratossaurídeos.

A caracterização de pegadas fósseis na “Formação *Pholadomya protei*” amplia a distribuição temporal e regional do registo de dinossauros na Bacia Lusitânica, situada na área mais ocidental do mar Tétis europeu. Os morfótipos identificados não diferem dos já analisados nos estratos abrangidos pelo Complexo Carbonoso, depositados durante a parte inicial do Oxfordiano médio (ex. Gomes, 1915–1916; Lapparent & Zybszewski, 1957). Todavia, diferem dos descritos para o Kimmeridgiano inferior (Carvalho et al., 2022), o que poderia se relacionar com uma mudança temporal dos tipos faunísticos.

Agradecimentos: À Ana Torrão pela colaboração nas atividades de campo. O trabalho teve apoio financeiro: da Fundação para a Ciência e Tecnologia, nos projetos UID/Multi/00073/2020 (Centro de Geociências, Univ. de Coimbra), UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020 (MARE) e LA/P/0069/2020 (Laboratório Associado ARNET); CNPq 303596/2016-

3, FAPERJ E-26/200.828/2021, Brasil); e do Centro Português de Geo-História e Pré-História.

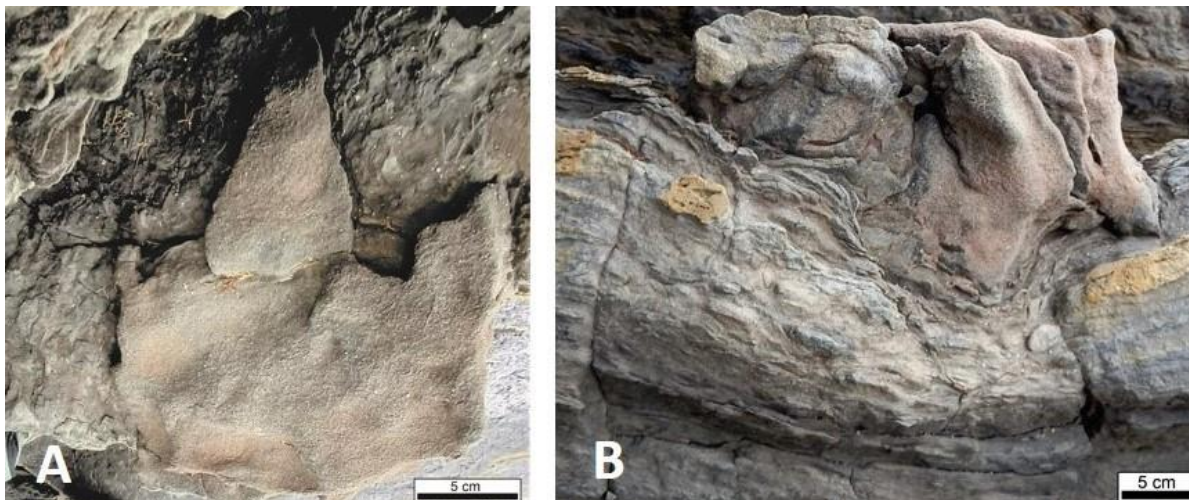


Fig. 1. Pegada de terópode CMPP 9. (A) Plano de acamamento com a pegada, apresentando parte dos dígitos e margem posterior incompleta; (B) Seção transversal da mesma pegada, mostrando a deformação originada nos estratos subjacentes à zona de contato entre a paleosuperfície e o pé do animal.

Referências

- Antunes, M.T. (1976). Dinossáurios Eocretácicos de Lagosteiros. *Ciências da Terra*, 1, 1-35.
- Avanzini, M., Frisia, S., Van den Driessche, K. & Keppens, E. (1997). A Dinosaur tracksite in an Early Liassic tidal flat in Northern Italy: Palaeoenvironmental reconstruction from Sedimentology and Geochemistry. *Palaios*, 12, 538-551.
- Azerêdo, A.C., Duarte, L.V., Henriques, M.H. & Manuppella, G. (2003). Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos de Geologia de Portugal*. Instituto Geológico e Mineiro. 43 pp.
- Bernardes, C. (1992). A sedimentação durante o Jurássico Superior entre o Cabo Mondego e o Baleal (Bacia Lusitana): Modelos deposicionais e arquitectura sequencial. Ph.D. Thesis. Univ. Aveiro, Portugal.
- Carvalho, I.S., Cunha, P.P. & Figueiredo, S.D. (2022). Dinoturbation in Upper Jurassic siliciclastic levels at Cabo Mondego (Lusitanian Basin, Portugal): evidences in a fluvial-dominated deltaic succession. *Palaeoworld*, 31(3), 455-477.
- Cobos, A., Lockley, M.G., Gascó, F., Royo-Torres, R. & Alcalá, L. (2014). Megatheropods as apex predators in the typically Jurassic ecosystems of the Villar del Arzobispo Formation (Iberian Range, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 399, 31-41.
- Figueiredo, S.D., Carvalho, I.S., Pereda-Suberbiola, X., Cunha, P.P., Antunes, V. & Diaz-Martínez, I. (2022). [New ornithopod footprints from the Areia do Mastro Formation \(Lower Cretaceous\), Espichel Cape \(Portugal, Western Iberia\) and their context in the Iberian ichnological ornithopod record](#). *Cret. Research*, 131, 105069.
- Gomes, J.P. (1915-1916). Descoberta de rastros de sáurios gigantescos no Jurássico do Cabo Mondego. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 11, 132-134.
- Lapparent, A.F. & Zybszewski, G. (1957). Les Dinosauriens du Portugal. *Mem. Serv. Geológicos de Portugal*, 2, 1-63.
- Pena dos Reis, R., Dinis, J., Cunha, P.P. & Trincão, P. (1996). Upper Jurassic sedimentary infill and tectonics of the Lusitanian Basin (Western Portugal). *In Jurassic Research*. GeoResearch Forum, 1-2. 377-386.
- Razzolini, N.L., Oms, O., Castanera, D., Vila, B., Santos, V.F. & Galobart, À. (2016). Ichnological evidence of Megalosaurid dinosaurs crossing Middle Jurassic tidal flats. *Scientific Reports*. 6. 31494.
- Santos, V.F. (2008). Pegadas de Dinossáurios de Portugal. Museu Nacional de História Natural.

Quistos de dinoflagelados do Cenomaniano da Nazaré: lista taxonómica atualizada e contexto na Plataforma Carbonatada Ocidental Portuguesa

Dinoflagellate cysts from the Cenomanian of Nazaré: updated taxonomical checklist and context in the West Portuguese Carbonate Platform

L. Castro (1, 2) e P. M. Callapez (3,4)

- (1) Departamento Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica (Portugal). * lscastro@fct.unl.pt
- (2) GeoBioTec - polo FCT, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica (Portugal)
- (3) Universidade de Coimbra, CITEUC - Centro de Investigação da Terra e do Espaço, 3030-790 Coimbra (Portugal)
- (4) Universidad de Alcalá, Grupo de Investigación Paleolbérica, 28805 Alcalá de Henares (España)

Summary: *The promontory of Nazaré is a key section to study the Upper Cretaceous series of the West Portuguese Margin of Iberia. Special emphasis goes to the Cenomanian-Turonian West Portuguese Carbonate Platform, whose fossil rich facies outcrop extensively in the coastal cliffs. Nazaré is also one of the few sections where studies on Cenomanian dinocysts were made. Present work updates a checklist of 46 early to mid-Cenomanian taxa, which are related to alluvial and tidal flat environments with lagoonal areas that preceded the major early late Cenomanian transgressive event with Neolobites assemblages.*

Key words: *Dinoflagellate cysts, Cenomanian, taxonomic list, palaeogeography, Nazaré (W. Portugal)*

Palavras-chave: Quistos de dinoflagelados, Cenomaniano, lista taxonómica, paleogeografia, Nazaré

O afloramento do promontório da Nazaré é um dos principais registos pós-rifte do Cretácico Superior da Margem Oeste da Ibéria. Nele se expõe uma extensa sucessão da Plataforma Carbonatada Ocidental Portuguesa, com fácies lagunares do Cenomaniano inferior e médio, e calcários nodulosos com *Neolobites* e fácies de rudistas do Cenomaniano superior e Turoniano inferior (Callapez et al., 2014). A plataforma é transgressiva sobre arenitos e lutitos do Cenomaniano inferior, ricos em restos vegetais e expostos na praia sul. A sua palinologia foi estudada sobretudo por Groot & Groot (1962) e Moron (1981). Neste contexto, a Nazaré é um dos afloramentos pioneiros do estudo de quistos de dinoflagelados cenomanianos, em Portugal. Na esteira de Berthou et al. (1981), Moron (1981), Oliveira (2017), Fernandes (2019) e Bonito (2021) ampliaram o seu estudo ao Cenomaniano médio local, permitindo efetuar novas precisões sobre a biostratigrafia e paleoecologia (Fernandes et al., 2021). Neste trabalho atualizam-se os dinoquistos reportados para o Cenomaniano inferior e médio da Nazaré, perfazendo 46 *taxa*: (?)*Bourkidinium* sp. Morgan, 1975 emend. Nøhr-Hansen, 1993; *Canningia reticulata* Cookson & Eisenack, 1960 emend. Below, 1981, Helby, 1987; *Canningia* sp. Cookson & Eisenack, 1960 emend.

Dörhöfer & Davies, 1980, Below, 1981; *Cyclonephelium "distinctum"* (Deflandre & Cookson, 1955) - now *Circulodinium deflandrei* Alberti, 1961; *Circulodinium* sp. Alberti, 1961; *Coronifera oceanica* Cookson & Eisenack, 1958 emend. May, 1980; *Cribroperidinium* sp. Neale & Sarjeant, 1962 emend. Davey, 1969, Sarjeant, 1982, Helenes, 1984; *Cyclonephelium vannophorum* Davey, 1969; *Cyclonephelium* sp. Deflandre & Cookson, 1955 emend. Cookson & Eisenack, 1962, Williams & Downie, 1966, Ioannides et al., 1977, Sarjeant & Stover, 1978, Stover & Evitt, 1978, Dörhöfer & Davies, 1980; *Dingodinium* sp. Cookson & Eisenack, 1958 emend. Mehrotra & Sarjeant, 1984, Stover & Helby, 1987; *Downiesphaeridium* sp. Islam, 1993 emend. Masure in Fauconnier & Masure, 2004; *Epelidosphaeridia spinosa* Cookson & Hughes, 1964 ex. Davey, 1969; *Exochosphaeridium* sp. Davey et al., 1966 emend. Helenes, 2000; *Florentinia clavigera* Deflandre, 1937b, Davey & Verdier, 1973, emend. Davey & Verdier, 1976; *Florentinia* aff. *cooksoniae* (Singh, 1971), Duxbury, 1980, emend. Duxbury, 1980; *Florentinia* cf. *deanei* (Davey & Williams, 1966) Davey & Verdier, 1973; *Florentinia mantellii* (Davey & Williams, 1966) Davey & Verdier, 1973; *Florentinia* sp. Davey & Verdier, 1973 emend. Duxbury, 1980;

Heterosphaeridium sp. Cookson & Eisenack, 1968 emend. Yun Hyesu, 1981; *Impletosphaeridium* sp. ou spp. Morgentoth, 1966 emend. Islam, 1993; *Kiokansium* sp. Stover & Evitt, 1978 emend. Duxbury, 1983; *Laciniadinium* sp. McIntyre, 1975; (?)*Odontochitina* sp. Deflandre, 1937 emend. Davey, 1970, Bint, 1986, El Mehdawi, 1998, Núñez-Betelu & Hills, 1998; *Oligosphaeridium* cf. *complex* (White, 1842) Davey & Williams, 1966; *Oligosphaeridium pulcherrimum* (Deflandre & Cookson, 1955) Davey & Williams, 1966; *Oligosphaeridium* sp. Davey & Williams, 1966 emend. Davey, 1982; *Operculodinium* sp. Wall, 1967 emend. Matsuoka et al., 1997; *Palaeohystrichophora infusorioides* Deflandre, 1935; *Palaeohystrichophora* sp. Deflandre, 1935 emend. Deflandre & Cookson, 1955; *Rhaetogonyaulax* sp. Sarjeant, 1966 emend. Harland et al., 1975, Fisher & van Helden, 1979, Below, 1987; *Saeptodinium* sp. 1 Harris, 1974; grupo *Sentusidinium* spp. Sarjeant & Stover, 1978, emend. Courtinat, 1989; *Spinidinium* sp. Cookson & Eisenack, 1962 emend. Lentin & Williams, 1976, Quattrochio & Sarjeant, 2003, Sluijs et al., 2009; *Spiniferites ramosus* var. *multibrevis* (Moron 1981) - now *Spiniferites multibrevis* (Davey & Williams, 1966) Below, 1982; *Spiniferites ramosus* (Ehrenb., 1837) Mantell, 1854; *Spiniferites ramosus* var. *ramosus* - now *Spiniferites ramosus* subsp.

ramosus Ehrenberg, 1837; *Spiniferites* sp. Mantell, 1850 emend. Sarjeant, 1970; *Oligosphaeridium* cf. *anthophorum* - now *Stiphrosphaeridium anthophorum* Cookson & Eisenack, 1958, Lentin & Williams, 1985; *Subtilisphaera* sp. Jain & Millepied, 1973 emend. Lentin & Williams, 1976; *Trichodinium castaneum* (Deflandre) Clarke & Verdier, 1967; *Trithyrodinium suspectum* (Manum & Cookson, 1964) Davey 1969; *Trithyrodinium* sp. Drugg, 1967 emend. Davey, 1969, Lentin & Williams, 1976, Marheinecke, 1992; *Xenascus ceratioides* (Deflandre, 1937) Lentin & Williams, 1973; *Xenascus* sp. Cookson e Eisenack, 1969 emend. Yun Hyesu, 1981, Stover & Helby, 1987; *Xiphophoridium alatum* (Cookson & Eisemack, 1962) Sarjeant, 1966 emend. Sarjeant, 1966; *Xiphophoridium* sp. Sarjeant, 1966.

No seu conjunto, os dinoquistos do Cenomaniano inferior e médio da Nazaré sugerem ambientes margino-lagunares, algo salobros e com alguma exposição às condições marinhas, contíguos a planície aluvial. Contextualizam-se num intervalo de tendência transgressiva, em que a Plataforma Carbonatada Ocidental Portuguesa se instalou na região. O seu estudo contribui de forma expressiva para o conhecimento biostratigráfico e paleoecológico do Cenomaniano de Portugal.

Referências

- Berthou, P.Y., Hasenboehler, B. & Moron, J.M. (1981). Apports de la palynologie la stratigraphie du Crétacé moyen et supérieur du bassin occidental portugais. *Memórias e Notícias*, 91-92, 183-221.
- Bonito, A. (2021). Contribuição da palinostratigrafia do Cretácico Superior da Nazaré (Portugal). Reconstituições paleoambientais a biostratigráficas. Dissertação de Mestrado, Univ. Évora.
- Callapez, P.M., Barroso-Barcenilla, F., Cambra-Moo, O., Ortega, F., Pérez-García, A., Segura, M. & Torrices, A. (2014). Fossil assemblages and palaeoenvironments in the Cenomanian vertebrate site of Nazaré (West Central Portugal). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 273 (2), 179-195.
- Fernandes, L. (2019). Taxonomia, biostratigrafia, paleoecologia, e paleobiogeografia de palinórfos do Cenomaniano médio da Nazaré. Dissertação de Mestrado, Univ. Minho (Braga).
- Fernandes, L.B., Bonito, A. Castro, L., Alves, M.I.C. & Callapez, P.M. (2021). Quistos de dinoflagelados do Cenomaniano médio da Nazaré. *Paleoambientes e implicações biostratigráficas*. *Comunicações Geológicas*, 108 (Especial I - XIX EJIP), 59-64.
- Groot, J.J. & Groot, C.R. (1962). Plant microfossils from Aptian, Albian and Cenomanian deposits of Portugal. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 46, 133-176.
- Moron, J. (1981). Étude Paleobotanique et Palynologique du Crétacé Supérieur du Bassin Occidental Portugais au Nord de l'accident de Nazaré (Portugal). Thèse 3^{ème} Cycle, Univ. Pierre et Marie Curie (Paris).
- Oliveira, P. (2017). Contribution to the knowledge of dinoflagellate cysts from the Upper Cretaceous of Portugal: study of the lagoonal associations from the Cenomanian of Nazaré. Master Dissertation, Univ. Coimbra.

Early and Middle Jurassic palynostratigraphy of the Lusitanian Basin in the proto-Atlantic context

Palinoestratigrafia do Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica no contexto proto-Atlântico

V. Correia⁽¹⁾, Z. Pereira⁽²⁾, J. B. Riding⁽³⁾, L. V. Duarte⁽⁴⁾, M .H. Henriques⁽⁵⁾ and P. Fernandes⁽⁶⁾

(1) Geological Survey of Canada – Atlantic (GSCA), Dartmouth, NS, Canada. vania.correia@nrcan-rncan.gc.ca

(2) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), S. Mamede de Infesta, Portugal

(3) British Geological Survey (BGS), Keyworth, Nottingham, UK

(4) Universidade de Coimbra and Centro de Ciências do Mar e do Ambiente (MARE) – ARNET, Portugal

(5) Universidade de Coimbra and Centro de Geociências (CGEO), Portugal

(6) Universidade do Algarve and Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA), Faro, Portugal

Sumário: A palinologia é uma ferramenta muito útil nos trabalhos de bioestratigrafia e interpretações paleoambientais, e que pode ser aplicada no conhecimento da geologia da Bacia Lusitânica. Assim, foi desenvolvido um estudo palinoestratigráfico de alta-resolução em 8 cortes do Jurássico Inferior e Médio (Sinemuriano superior—base do Batoniano) da Bacia Lusitânica e, neste trabalho, são apresentados os intervalos de ocorrência e bioeventos associados aos principais taxa identificados, nomeadamente no grupo dos quistos de dinoflagelados.

Palavras-chave: Quistos de dinoflagelados, Palinologia, Bioestratigrafia, Jurássico, Bacia Lusitânica

Keywords: Dinoflagellate cysts, Palynology, Biostratigraphy, Jurassic, Lusitanian Basin

The Lusitanian Basin is located in central western Portugal and is infilled mainly with Jurassic strata. The macro- and microfossil biostratigraphy of this basin is relatively well studied, but palynological data are scarce. We address this problem with a high-resolution palynostratigraphic study, based mainly on dinoflagellate cysts, of a Lower and Middle Jurassic composite section from the Lusitanian Basin. We analysed 301 productive samples of marls and marly limestones for palynomorphs from eight outcrops: São Pedro de Moel, Brenha, Peniche, Fonte Coberta, Maria Pares, Vale das Fontes, São Gião and Cabo Mondego, together comprising an upper Sinemurian–lowermost Bathonian succession. The resulting biostratigraphic scheme identifies 28 significant palynomorph bioevents for the late Pliensbachian–earliest Bathonian interval (Correia, 2018; Correia et al., 2018, 2019). They include: the Toarcian Oceanic Anoxic Event (T-OAE, or Jenkyns Event), the Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Toarcian Stage at Peniche, the GSSP for the Bajocian Stage at Cabo Mondego, and the Auxiliary Boundary Stratotype Section and Point (ASSP) for the Bathonian Stage at Cabo Mondego.

This high-resolution dinoflagellate cyst record documents the earliest-known appearance of this group in the Lusitanian Basin; this inception was at the base of the late Pliensbachian, with first

occurrences (FOs) of four species. The event also reflects dramatic changes during the T-OAE among marine organisms, including the extinction of taxa. In the Lusitanian Basin, the beginning of the T-OAE, which occurred at the base of the *Hildaïtes levisoni* ammonite biozone, is marked by the extinction of *Luehndea spinosa*, the temporary disappearance of *Nannoceratopsis* and a general reduction in dinoflagellate cyst abundance; an increase in prasinophyte abundance also occurs. These bioevents correlate with the negative carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) isotope excursion records previously established for the Lusitanian Basin (e.g. Hesselbo et al., 2007; Suan et al., 2010; Ullmann et al., 2020). The increase in dinoflagellate cyst FOs during the early Bajocian to earliest Bathonian reflects the Middle Jurassic radiation of this planktonic group. Despite their relatively long stratigraphic ranges, the spore *Kraeuselisporites reissingeri* and the pollen *Classopollis* spp., *Araucariacites australis* and *Callialasporites* spp. are useful local additional stratigraphic indicators.

The dinoflagellate cyst assemblages indicate that the Lusitanian Basin is an intermediate area between the Boreal and Tethyan realms, containing taxa characteristic of both. It thus represents a transition between northern and southern Europe during the previous phases of opening the North Atlantic Ocean.

Acknowledgements: Vânia Correia acknowledges the support through the PhD grant SFRH/BD/93950/2013 awarded by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT).

References

- Correia, V. (2018). *Jurassic dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Lusitanian Basin, west-central Portugal, and its relevance to the opening of the North Atlantic and petroleum geology*. PhD Thesis, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Faro, 283 pp. <http://hdl.handle.net/10400.1/10828>
- Correia, V.F., Riding, J.B., Duarte, L.V., Fernandes, P. & Pereira, Z. (2018). The Early Jurassic palynostratigraphy of the Lusitanian Basin, western Portugal. *Geobios*, 51, 537-557. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2018.03.001>
- Correia, V.F., Riding, J.B., Henriques, M.H., Fernandes, P., Pereira, Z. & Wiggan, N. J. (2019). The Middle Jurassic palynostratigraphy of the northern Lusitanian Basin, Portugal. *Newsletters on Stratigraphy*, 52(1), 73-96. <https://doi.org/10.1127/nos/2018/0471>
- Hesselbo, S.P., Jenkyns, H.C., Duarte, L.V. & Oliveira, L.C.V. (2007). Carbon-isotope record of the Early Jurassic (Toarcian) Oceanic Anoxic Event from fossil wood and marine carbonate (Lusitanian Basin, Portugal). *Earth and Planetary Science Letters*, 253, 455-470. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.11.009>.
- Suan, G., Mattioli, E., Pittet, B., Lécuyer, C., Suchéras-Marx, B., Duarte, L.V., Philippe, M., Reggiani, L. & Martineau, F. (2010). Secular environmental precursors to Early Toarcian (Jurassic) extreme climate changes. *Earth and Planetary Science Letters*, 290, 448-458. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.12.047>
- Ullmann, C.V., Boyle, R., Duarte, L.V., Hesselbo, S.P., Kasemann, S.A., Klein, T., Lenton, T.M., Piazza, V. & Aberhan, M. (2020). Warm afterglow from the Toarcian Oceanic Anoxic Event drives the success of deep-adapted brachiopods. *Nature Scientific Reports*, 10:6549. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63487-6>.

Revisiting the classical small mammal assemblage from the Eocene site of Silveirinha: a fresh look at old collections

Revisitando a coleção clássica de pequenos mamíferos do Eocénico inferior de Silveirinha: um novo olhar sobre coleções antigas

V. D. Crespo (1, 2), C. Sequero (1*), M. Rios (1,2), D. Estraviz-López (1,2), A. Gamonal (3), R. Martino (1), M. Riccetto (1), P. M. Callapez (4,5), P. Legoinha (1) and O. Mateus (1, 2)

(1) GeoBioTec, Department of Earth Sciences, NOVA School of Science and Technology, Universidade NOVA de Lisboa, Monte de Caparica, Portugal. *cristinasq92@gmail.com

(2) Lourinhã Museum, Lourinhã, Portugal.

(3) Museo Paleontológico de Alpuente, Alpuente, España-Spain.

(4) CITEUC, Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

(5) Grupo de Investigación Paleolítica, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España-Spain.

Sumário: O sítio de Silveirinha é uma das localidades de mamíferos mais conhecidas da Paleontologia do Cenozoico de Portugal e da Europa em geral. Graças à sua rica e diversificada associação de mamíferos, com mais de 30 taxa, foi posicionado no Eocénico inferior (início do Ypresiano, MP7, ca. 55,8 M.a.), sendo o local mais antigo da Europa desta Época, devido à presença única de taxa típicos do Paleocénico superior, juntamente com outras espécies já características do Eocénico inferior. Este estudo irá rever o material de pequenos mamíferos deste sítio, conservado na coleção clássica da Universidade Nova de Lisboa, a fim de fazer uma actualização taxonómica à luz das publicações mais recentes.

Palavras-chave: Ypresiano, MP7, Silveirinha (Portugal), coleção histórica, vertebrados

Key words: Ypresian, MP7, Silveirinha (Portugal), historical collection, vertebrates

The Silveirinha site is one of the best-known mammalian sites of the Cenozoic of Portugal and the European Eocene. The first fossils were discovered by Pena dos Reis (1981), during researches on the Cretaceous and Cenozoic stratigraphy of the Mondego Basin. The fossil assemblage was found in a claystone quarry located about 15 km south from Figueira da Foz, and first studied in collaboration with M. Telles Antunes and A. Ferreira Soares (Reis et al., 1981; Antunes & Russel, 1981; Soares & Reis, 1982). They defined the local lithostratigraphic setting as “Areias e argilas de Silveirinha” (“Silveirinha sands and clays”), later renamed as Silveirinha Formation. Since then, the fossil site has been excavated on several occasions, with the largest effort during the summer of 1986, when more than a ton and a half of sediment was extracted. The site was excavated at three different points on the same level (SV1, SV2 and SV3). Based on this abundant material, Estraviz (1992) wrote her doctoral thesis. Unfortunately, despite the richness of the fossil material excavated during the years, this site is no longer available for further investigations because the quarry is now infilled, and the fossil horizon is no longer accessible for collecting new material.

In the above mentioned PhD thesis, the following faunistic list was described (in brackets, the points

where each taxon has been discovered; no indication is listed when the appearance was in all the localities: *Peratherium* cf. *constans*, *Apatemys* sp. I (SV2+3), cf. *Apatemys* sp. II (SV3), *Heterohyus* sp. I and II (SV3), *Russellmys denisae* (SV3), *Leptacodon nascimentoi*, cf. *Leptacodon* sp. (SV3), *Nyctitheriidae* indet. (SV3), ?*Nyctitheriidae* or ?*Dormaalidae* indet. (SV1+2), ?*Talpavus* sp. (SV1), *Didelphodus* sp. (SV3), *Arcius zbyzewskii*, *Eurodon silveirinhensis* (SV2+3), *Donrussellia lusitanica*, cf. *Cantius* sp. and/or cf. *Donrussellia* sp. (SV3), *Creodonta* indet., *Miacis* cf. *latouri*, cf. *Miacis* sp., cf. *Viverravus* sp., *Miacidae* indet., *Microparamys paisi*, *Microparamys* cf. *nanus*, *Meldimys cardosoi*, *Paschatherium marianae*, *Microhyus reisi*, *Diacodexis antunesi*, *Hyracotherium* cf. *vulpiceps*, cf. *Lophiaspis maurettei* (SV3), *Ilerdoryctes* cf. *sigei* (SV3) and *Mammalia* indet. (SV1). Afterwards, excavations continued for some time, adding new taxa to the list, such as *Archaeonycteris? praecursor*, or *Mondegodon eutrignonus* (Tabuce et al., 2009, 2011). The new material also allowed for a more detailed description of previously found taxa, such as *Diacodexis* or *Microhyus* (Boivin et al., 2018 and references therein). Silveirinha is therefore a site of vital importance in the study of early Eocene fossil mammals, and it is the type locality of eleven mammal species (fig. 1).

However, not all palaeontological studies have focused on mammals, and there are other vertebrates in the faunistic association, such as crocodiles, turtles, birds, amphibians, squamates and fishes. In addition, to complete the context in which this site was deposited, invertebrate and plant remains, such as molluscs, ostracods and charophytes, have been thoroughly studied (Pais et al., 2012 and references herein). The first ones revealed an assemblage typical of low energy freshwater environments with reddish clay substrates drained by small channels with sandy infill (Callapez, 2003).

One of the controversies raised by this site relates to the Eocene boundary, more specifically MP7, being the oldest European site of this age, since there was some doubt as to whether it corresponded to the late Palaeocene or the earliest Eocene. In general, the mammal faunas consist of a combination of primitive elements typical of the Paleocene, together with more modern ones that belong to the early Eocene. According to this combination, the mammal fauna has been assigned to a more basal Ypresian age (near the Palaeocene-Eocene boundary), more specifically MP7, being the oldest European site of this age.



Fig. 1. The quarry and fossil site of Silveirinha, in 2004.

This study reviews the small mammal materials housed in the classical collection of the Universidade Nova de Lisboa, in order to make a taxonomic update in the light of the most recent studies on this type of mammals during the last few years. This revision plays a major role in a better taxonomical and phylogenetic knowledge of these faunas, since the site is no longer accessible and it will no longer be possible to obtain additional specimens from it.

Acknowledgements: We thank José Kullberg and Paulo Caetano for allowing us access to the collection for study.

Referências

- Antunes, M. & Russel, D. (1981). Le gisement de Silveirinha (Bas Mondego, Portugal): la plus ancienne faune de vertébrés éocènes connue en Europe. C. R. Académie des Sciences de Paris, série II, 293, 1099-1102.
- Boivin, M., Orliac, M.J., Antunes, M.T., Godinot, M., Laurent, Y., Marandat, B., Vidalenc, D. & Tabuce, R. (2018). New material of *Diacodexis* (Mammalia, Artiodactyla) from the early Eocene of Southern Europe. *Geobios*, 51, 285-306.
- Callapez, P.M. (2003). Upper Palaeocene-early Eocene mollusks of Silveirinha (Figueira da Foz, West Central Portugal). *Ciências da Terra*, 15, 83-90.
- Estravís, C. (1992). Estudo dos mamíferos do Eocénico inferior de Silveirinha (Baixo Mondego). Tese de Doutoramento (não publicada), Universidade Nova de Lisboa. Monte de Caparica.
- Pais, J., Cunha, P.P., Pereira, D., Legoinha, P., Dias, R., Moura, D., da Silveira, A.B., Kullberg, J.C. & González-Delgado, J.A. (2012). The Paleogene and Neogene of western Iberia (Portugal): a Cenozoic record in the European Atlantic domain. Springer Berlin Heidelberg.
- Reis, R.P. (1981). La sédimentation continentale du Crétacé terminal au Miocène sur la Bordure Occidentale du Portugal, entre Coimbra et Leiria. Thèse de 3^{ème} Cycle. Université de Nancy I. Nancy.
- Reis, R.P., Soares, A.F. & Antunes M.T. (1981). As Areias e Argilas de Silveirinha. *Mem. Notícias*, 91-92, 244-267.
- Soares, A.F. & Reis, R.P. (1982). Esboço de enquadramento cronostratigráfico das unidades líticas pós-jurássicas da Orla Meso-Cenozóica Ocidental entre os paralelos de Pombal e Aveiro. *Memórias e Notícias*, 93, 77-91.
- Tabuce, R., Antunes, M.T. & Sigé, B. (2009). A new primitive bat from the earliest Eocene of Europe. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 29(2), 627-630.
- Tabuce, R. Clavel, J. & Antunes M.T. (2011). A structural intermediate between triisodontids and mesonychians (Mammalia, Acreodi) from the earliest Eocene of Portugal. *Naturwissenschaften*, 98, 145-155.

Estado da arte sobre os corais pleurodictiformes (Anthozoa, Tabulata) do Devónico de Portugal

State of the art on the pleurodictyform corals (Anthozoa, Tabulata) from the Devonian of Portugal

R. Domingos (1), P. Correia (2), P. Legoinha (1) e P. M. Callapez (1,3,4)

- (1) GEOBIOTEC, Earth Sciences Department, NOVA School of Science and Technology, UNL, Campus de Caparica, P-2829516 Caparica, Portugal. rs.domingos@campus.fct.unl.pt
- (2) Universidade de Coimbra, CGUC – Centro de Geociências, Polo II, Rua Sílvio Lima, P-3030 790 Coimbra, Portugal.
- (3) Universidade de Coimbra, CITEUC – Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra, Polo II, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal.
- (4) PALEOIBERICA, Grupo de Investigación Consolidado de la Universidad de Alcalá (COD-824), Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Alcalá de Henares, 28871 Alcalá de Henares, España.

Summary: *References to pleurodictyform tabulated corals date back to the time of Nery Delgado and appear in several studies on the Palaeozoic Stratigraphy and Palaeontology of mainland Portugal. They have been identified in the vast majority as Pleurodictyum problematicum, often incorrectly because it is a wastebasket taxon. This work presents the state of the art of this fossil group in the country and adds new data regarding its study through the review of specimens of P. problematicum from museological collections and fieldwork in Rates and Portalegre (north and central ranges). Through these works the genera Keirforneidictyum and Paracleistopora were identified, as well as the species Granulidictyum e.g. granuliferum and Pleurodictyum latum (?), besides a possible new species of Pleurodictyum still under study. This study contributes to the knowledge of these extinct corals in a Portuguese and Iberian context, and also recalls the importance of museum reference collections in paleontological research.*

Key words: Devonian, Pleurodictyum problematicum, Pleurodictyform, taxonomical review, Portugal

Palavras-chave: Devónico, Pleurodictyum problematicum, Pleurodictiforme, Revisão taxonómica, Portugal

Os corais tabulados pleurodictiformes surgem de forma escassa no Devónico de norte a sul de Portugal e encontram-se ainda mal estudados. Este grupo de corais extintos tem vindo a ser mencionados desde a época de Nery Delgado, referindo-se geralmente a *Pleurodictyum problematicum* (e.g. Costa, 1931; Costa & Teixeira, 1957; Teixeira et al., 1965; Perdiggão, 1972-73). O género *Pleurodictyum* tem sido usado de forma abusiva para a identificação de vários espécimes ao longo dos anos (Le Menn et al., 2002; Plusquellec, 2007; Domingos et al; 2021). Perdiggão (1972-73) fez a primeira revisão destes corais recolhidos por Nery Delgado, classificando muitos espécimes como *P. problematicum*. Mais tarde, a revisão de materiais de *P. problematicum* provenientes de Barrancos e depositados no Museu Geológico, em Lisboa (os mesmos revistos por Perdiggão) levada a cabo por Le Menn et al. (2002) revelou a existência dos taxa *Petridictyum* e.g. *petrii* e *Procteria* n. subg.(?) aff. *P. (Granulidictyum)* n. sp.. Outros espécimes foram classificados como

indeterminados ou pertencendo ao género *Pleurodictyum*, mas em nomenclatura aberta. Desde então, apenas um estudo identificou outro género, o coral *Ligulodictyum ligulatum* (Gourvennec et al., (2010). Estes trabalhos foram os únicos a rever ou a identificar estes coraliários devónicos até Domingos et al. (2021) alertarem para a necessidade de se aprofundar a revisão taxonómica destes fósseis. Nesse sentido, procedeu-se à classificação de novos espécimes, resultantes de trabalho de campo, a par da revisão dos existentes nas coleções do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território (DGAOT) da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP), Museu Geológico de Lisboa (LNEG) e Museu Décio Thadeu, do Instituto Superior Técnico (IST). No DGAOT apenas foi observado um espécime recolhido em Rates, no conselho de Póvoa de Varzim, e identificado como *Pleurodictyum* sp., mas que se revelou ser um pleurodictiforme indeterminado, devido à sua preservação deficiente. Exemplares das coleções do

LNEG revelaram a existência dos seguintes taxa provenientes dos afloramentos de Rates e Portalegre: *Granulidictyum* e.g. *granuliferum*, *Granulidictyum* (?) sp. *Paracleistopora* sp., *Pleurodictyum latum* (?) e *Kerforneidictyum* (?) sp., sendo estes novas ocorrências em Portugal. Já no IST foi registada a presença de *Ligulodictyum* e.g. *paraligulatum* (?) e *Granulidictyum* (?) sp. colhidos em Rates e Barrancos. Trabalho de campo adicional, levado a cabo em Rates e em Portalegre, revelou ainda espécimes de *Kerforneidictyum keifornei* e uma possível nova espécie de *Pleurodictyum*, ainda em estudo. O

trabalho de revisão, de campo e pesquisa bibliográfica aqui efetuado, permite ampliar significativamente a lista de géneros e espécies de corais tabulados pleurodictiformes conhecidos em Portugal e contribuir, de forma significativa, para o conhecimento do Devónico nacional. Este estudo permite ainda realçar a importância das coleções depositadas em museus geológicos, em particular nos portugueses.

Agradecimentos: Os autores expressam a sua gratidão ao Técnico Superior Jorge Sequeira do Museu Geológico do LNEG em Lisboa, ao Prof. Manuel Francisco Pereira do Instituto Superior Técnico de Lisboa e à Prof. Helena Couto do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, pelo acesso às coleções paleontológicas das suas respetivas instituições. Estão ainda gratos ao investigador Yves Plusquellec do *Département des Sciences de la Terre, Université de Bretagne Occidentale*, Brest, França, pelo apoio na identificação taxonómica. Um agradecimento, também, aos revisores, pelas correções e sugestões que permitiram melhorar esta comunicação.

Referências

- Costa, J.C. (1931). O Paleozóico português (síntese e crítica). Tese de doutoramento não publicada. Universidade do Porto, Porto. 143 pp.
- Costa, J.C. & Teixeira, C. (1957). Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, folha nº 9-C (Porto). Serviços Geológicos de Portugal. 38 pp.
- Domingos, R., Correia, P., Callapez, P.M. & Legoinha, P. (2021). A associação fossilífera do Devónico da localidade de Serra (Rates, Noroeste de Portugal) revisitada: contributo para a valorização geopatrimonial de uma área clássica do Paleozoico Ibérico. *Comunicações Geológicas*, 108 (2021) Fascículo Especial I: 53-58.
- Gouvernec, R., Piçarra, M.J., Plusquellec, Y., Pereira, Z., Oliveira, J.T. & Robardet, M. (2010). Lower Devonian faunas and palynomorphs from the Dornes Syncline (Central Iberian Zone, Portugal): stratigraphical and paleogeographical implications. *Carnets de Géologie/Notebooks on Geology*, Article 2010/09 (CG2010_A09), 1-10.
- Le Menn, J., Gouvernec, R., Plusquelec, Y., Piçarra, J.M., Pereira, Z., Robardet, M. & Oliveira, J.T. (2002). Lower Devonian benthic faunas from the Barrancos area (Ossa Morena Zone, Portugal) and their paleobiogeographic affinities. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 89, 19-38.
- Perdigão, J.C. (1972-73). O Devónico de Barrancos (Paleontologia e Estratigrafia). *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 56, 33-54.
- Plusquellec, Y. (2007). Histoire naturelle des pleurodictyformes (Cnidaria, Tabulata, Devonien) du Massif Armoricaïn et des régions maghrebo-européennes principalement. *Mémoires de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne*, 32, 1-138.
- Teixeira, C., Medeiros, A.C. & Assunção, C.T. (1965). Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, folha nº 9-A (Póvoa de Varzim). Serviços Geológicos de Portugal.

Novas pegadas de dinossauros do Jurássico Médio de Portugal

New dinosaur tracks from the Middle Jurassic of Portugal

S. D. Figueiredo (1), C. Neto de Carvalho (2), P. P. Cunha (3), C. Salgueiro (4), S. Medeiros (5), J. Forte (6) e R. F. Anastácio (7)

(1) Instituto Politécnico de Tomar; Centro Português de Geo-História e Pré-História; Centro de Geociências da Universidade de Coimbra. silverio.figueiredo@ipt.pt

(2) Serviço de Geologia do Município de Idanha-a-Nova - Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO; Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Portugal; Centro Português de Geo-História e Pré-História.

(3) Universidade de Coimbra; MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente / ARNET – Rede de Investigação Aquática; Departamento de Ciências da Terra.

(4) Fundação Maria Dias Ferreira.

(5) GPS – Grupo Protecção Sicó.

(6) Al-Baiáz - Associação de Defesa do Património.

(7) Instituto Politécnico de Tomar; Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

Summary: New dinosaur tracks from Middle Jurassic of the Lusitanian Basin (Portugal) are here presented. These new tracksites are important due to the scarcity of the paleoichnological record of Middle Jurassic dinosaurs in Portugal; until now only four sites with dinosaur's tracks were known. Two new tracksites were identified in the Middle Jurassic of Tomar and Serra de Sicó (Pombal). The tracks were produced by carnivorous dinosaurs (theropods) and herbivores (sauropods and ornithischians).

Key words: *Theropod tracks, Tomar, bioturbation*

Palavras-chave: pegadas de terópodes, Tomar, bioturbação

No Jurássico Médio de Portugal estão descritos quatro icnossítios com pegadas de dinossauros: Outão (Setúbal), do Batoniano – Caloviano, com três níveis com pegadas de saurópodes; Lagar dos Potes, do Batoniano, com pegadas de terópodes; Vale de Meios, também do Batoniano e com pegadas de terópodes; Pedreira do Galinha, a mais antiga destas jazidas, atribuída ao Batoniano inferior e com pegadas de saurópodes (ex. Santos, 2008; Santos et al., 2019) Destes icnossítios, três estão localizados no Distrito de Santarém e inseridos no Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros. O último está classificado como “Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios Ourém – Torres Novas” (D.R. nº 12/96, de 22 de outubro). Com exceção do fragmento de maxilar esquerdo atribuído a *Lusitanosaurus* (*nomen dubium*) (Lapparent e Zbyszewski, 1957), do Jurássico Inferior(?), estes são os mais antigos vestígios de dinossauros, conhecidos em Portugal. Neste trabalho caracterizam-se pegadas identificadas no Jurássico Médio de Tomar e da Serra de Sicó. Em Tomar foi efetuado, no campo, um levantamento cartográfico com o registo da localização das pegadas, que, posteriormente, foi convertido para informação geográfica. Este formato permitirá efetuar um conjunto de análises relacionais, com recurso a SIG. No sítio da Pedreira (Tomar) foram identificadas três prováveis pegadas de pequenos terópodes. Uma ocorre num nível com icnofósseis de invertebrados da icnoespécie *Rhizocorallium commune* Schmid, perto da Fonte de Paio Nunes.

Estes icnofósseis originaram uma lenda sobre a passagem da "burrinha de Nossa Senhora" pelo local, a qual, de acordo com as fontes orais, teria deixado as marcas dos seus cascos na rocha. Esta lenda conduziu à identificação do local como um icnossítio. Na camada com *R. commune* também ocorrem *ripple marks* simétricas e alguns restos vegetais incarbonizados. As outras duas pegadas ocorrem na superfície de uma camada que aflora na estrada de acesso à Fonte de Paio Nunes. As pegadas são tridáctilas e digitígradas e com dígitos relativamente finos (Fig. 1). Uma delas, identificada na estrada apresenta, uma impressão que poderá ser o calcanhar e todas apresentam o rebordo saliente, resultante da expansão do substrato pela pressão da pata dos seus produtores. Apesar de bem preservadas e definidas, não permitem uma classificação precisa. As pegadas estão impressas em calcários micríticos argilosos, de ambiente litoral, existindo variabilidade intermareal a inframareal, dada também pela presença de *R. commune*. Na vertente SW da Serra do Sicó, próximo de Abiul (Pombal), foram identificadas, em camadas de calcário puro, compacto, duas pegadas: a primeira está incompleta e a segunda, de terópode, descoberta em 2003, por dois espeleólogos do GPS – Grupo Protecção Sicó, está bem definida e preservada; é tridáctila e alongada, com dígitos finos (Fig. 2A). A pegada apresenta características que permitem classificá-la como cf. *Megalosauripus* isp.. Em 2021 foi descoberta uma outra possível pegada

de dinossauro (Fig. 2B). Trata-se de um molde, em relevo positivo, conservada parcialmente, em que se preservaram dois dígitos e o calcanhar também arredondado. É tridáctila plantígrada, com dedos largos e arredondados, e o calcanhar também arredondado. Estas características indicam que poderá ter sido produzida por um dinossauro ornitíscuo, do grupo dos Thyreophora ou dos Ornithopoda. O estado de preservação não permite uma classificação mais precisa do seu produtor.

Em Tomar, as prováveis pegadas identificadas localizam-se na Formação (Fm) de Chão das Pias,

consentânea com o Bajociano superior (Azerêdo, 2007), o que poderá corresponder ao registo mais antigo do Jurássico Médio em Portugal; a pegada da Serra de Sicó ocorre na Fm de Sicó, atribuída ao Batoniano (Manuppella et al., 1978).

Agradecimentos: este trabalho teve apoio financeiro da Fundação para a Ciência e Tecnologia, nos projetos UID/Multi/00073/2020 (Centro de Geociências, Univ. de Coimbra), UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020 (MARE) e do Centro Português de Geo-História e Pré-História.

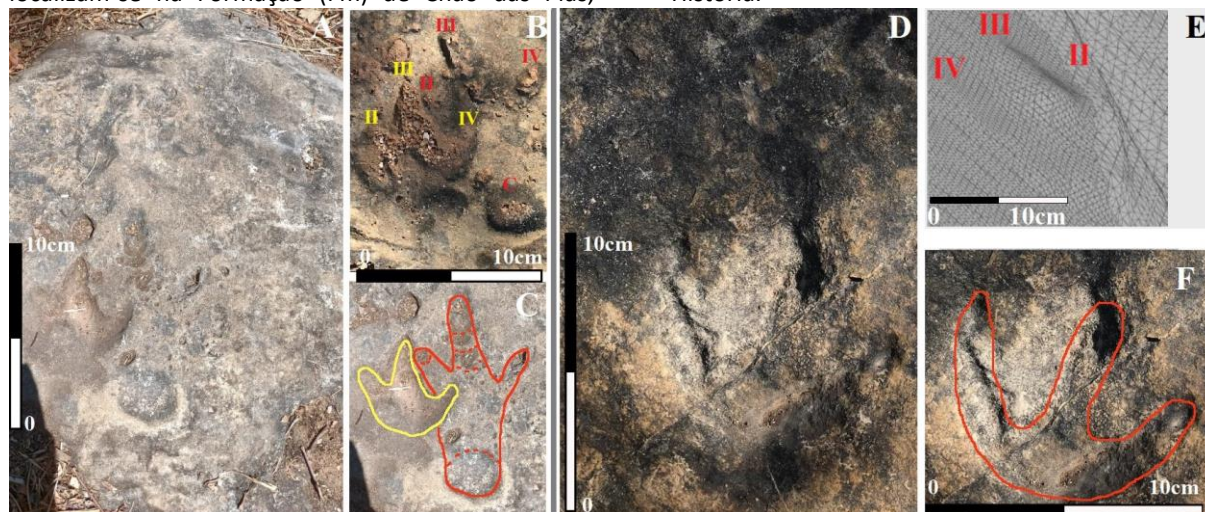


Fig. 1. Prováveis pegadas do Jurássico Médio na região a norte de Tomar: A-C: pegadas na estrada de acesso à Fonte de Paio Nunes (A – fotografia das pegadas; B – Fotogrametria; C -delimitação dos contornos das pegadas); D-E: pegada junto à ocorrência de *R. commune* (D – fotografia da pegada; E – modelação 3D; C -delimitação dos contornos da pegada). Abreviatura: II; III; IV – dígitos; C – Calcanhar. Escala: 10 cm



Fig. 2. Pegadas da Serra de Sicó (*Abiul*): A – pegada de terópode, descoberta em 2003; B – possível pegada de ornitíscuo, descoberta em 2021.

Referências

- Azerêdo, A.C. (2007). Formalização da litostratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica). *Comunicações Geológicas*, 94, 29-51.
- Lapparent, A.F. & Zybszewski, G. (1957). Les Dinosauriens du Portugal. *Mem. Serv. Geológicos de Portugal*, 2, 1-63.
- Manuppella, G., Zybszewski, G. & Veiga Ferreira, O. (1978). Carta Geológica de Portugal. Escala 1:50 000. *Notícia Explicativa da Folha 23-A (Pombal)*. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos de Portugal.
- Santos, V.F. (2008). Pegadas de Dinossáurios de Portugal. *Museu Nacional de História Natural*.
- Santos, V.F., Castanera, D., Cachão, M., Caetano, P.S., Callapez, P.M., Carvalho, C.N., Mocho, P., Oliveira, J., Santos, C. & Silva, C.M. (2019). New Middle Jurassic dinosaur tracks from Outão (Setúbal, West Central Portugal). *Abst. Book. VIII Jornadas Internacionais sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno (Burgos)*. 119-120.

Pegadas de terópodes da Formação de Papo Seco (Barremiano inferior, Cabo Espichel, Bacia Lusitânica)

Theropod tracks from the Papo Seco Formation (lower Barremian, Cabo Espichel, Lusitanian Basin)

S. D. Figueiredo (1), I. S. Carvalho (2), P. P. Cunha (3), X. Pereda-Suberbiola (4), C. Neto de Carvalho (5) e I. Diaz-Martínez (6)

- (1) Instituto Politécnico de Tomar; Centro Português de Geo-História e Pré-História; Centro de Geociências da Universidade de Coimbra. silverio.figueiredo@ipt.pt
- (2) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências; Centro de Geociências da Univ. Coimbra.
- (3) Universidade de Coimbra; MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente / ARNET – Rede de Investigação Aquática, Departamento de Ciências da Terra.
- (4) Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, Facultad de Ciencia y Tecnología, Dpto. Geología.
- (5) Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO Global; Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal; Centro Português de Geo-História e Pré-História.
- (6) Universidad Nacional de Río Negro.

Summary: New theropod tracks found in the Papo Seco Formation (lower Barremian, Lusitanian Basin) are presented. In 2022, thirteen theropod tracks were identified on the lowermost bed of this formation, preserved as natural cast infillings on the bedding surface. The tracks are attributed to the ichnogenus cf. *Megalosauripus* isp. It is suggested that they were produced by a medium-sized theropod, on a carbonate mud substrate, probably in a coastal environment associated with a lagoon. These tracks and others previous described in the underlying Areia do Mastro Formation, suggest a temporal continuity of the groups of dinosaurs that frequented this area, during the early Barremian.

Key words: dinosaur tracks, Lower Cretaceous, Portugal, coastal environment

Palavras-chave: pegadas de dinossauros, Cretácico Inferior, Portugal, ambiente litoral

No Cabo Espichel têm sido descritos vários icnossítios do Jurássico Superior e do Cretácico Inferior com pegadas de dinossauros (ex. Antunes, 1976; Dantas et al., 1994; Lockley et al., 1994; Figueiredo et al., 2021). Nos últimos anos, novos sítios com pegadas de dinossauros têm sido descritos entre a Boca do Chapim e a Praia do Guincho (norte do Cabo Espichel), nas formações de Areia do Mastro e de Papo Seco (Barremiano inferior) (Figueiredo et al., 2017, 2021, 2022a,b). Do Cretácico Inferior em Portugal estão descritos oito icnossítios com pegadas de ornitópodes, terópodes e saurópodes (Antunes & Mateus, 2003; Santos, 2008; Santos et al., 2015; Figueiredo et al. 2022b); destes, quatro possuem pegadas de terópodes (Lagosteiros, Praia de Salema, Praia Grande e Boca do Chapim/Areia do Mastro) (Santos, 2008; Figueiredo et al., 2021).

Neste trabalho caracterizam-se 13 pegadas de terópodes descobertas na Boca do Chapim, no topo da primeira camada da Formação (Fm.) de Papo Seco (Fig. 1). A camada onde se preservam as pegadas é constituída por calcário margo-arenoso, depositado num ambiente de planície de maré, associado a uma laguna carbonatada. As pegadas estão na superfície da camada, em relevo positivo,

constituindo-se como moldes naturais. Com um comprimento entre os 20 e os 40 cm, são digitígradas, tridáctilas e alongadas, com dígitos finos (Fig. 2), que atribuímos a cf. *Megalosauripus* isp. Três destas pegadas constituem um trilho estreito.

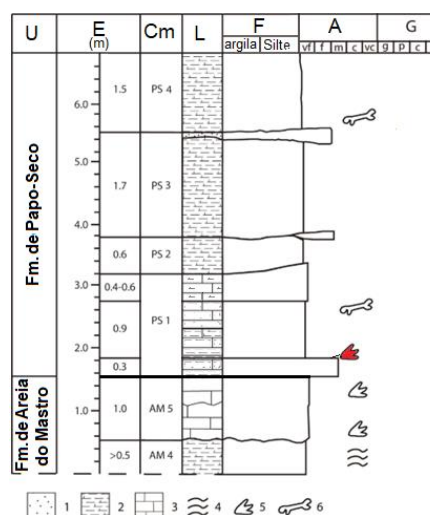


Fig. 1. Coluna estratigráfica do sítio de Boca do Chapim. 1 - arenitos; 2 - margas; 3 - calcários; 4 - laminação convoluta; 5 - pegadas; 6 - ossos e dentes. Códigos: U - unidade litostratigráfica; E - espessura; Cm - referência da camada; L - litologia; F - finos; A - areia; C - cascalho (a pegada)

representada a vermelho indica a localização das pegadas descritas).

Estas pegadas da Fm. de Papo Seco ampliam o conhecimento sobre a ocorrência de pegadas de terópodes no Cretácico Inferior em Portugal e o estudo acerca dos seus produtores permite complementar o conhecimento das faunas de dinossauros carnívoros no Barremiano do Cabo Espichel (ex. Lapparent & Zybszewski, 1957; Figueiredo et al., 2015). Na mesma camada ocorrem, embora em menor número, pegadas de outros grupos de dinossauros (saurópodes e ornitópodes). A ocorrência destes grupos é consistente com os restos ósseos fósseis encontrados na Fm. de Papo Seco, bem como com o conjunto de pegadas identificadas nas camadas imediatamente subjacentes a esta, pertencentes à Fm. de Areia do Mastro (Lapparent

& Zybszewski, 1957; Figueiredo et al., 2015, 2021, 2022b). No entanto, os morfótipos agora identificados diferem dos descritos para os terópodes da Fm. de Areia do Mastro (Figueiredo et al., 2021, 2022b), o que poderá indicar uma mudança dos tipos faunísticos dentro do grupo dos terópodes.

Agradecimentos: este trabalho teve apoio financeiro: da Fundação para a Ciência e Tecnologia, nos projetos UID/Multi/00073/2020 (Centro de Geociências, Univ. de Coimbra), UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020 (MARE) e LA/P/0069/2020 (Laboratório Associado ARNET); CNPq 303596/2016-3, FAPERJ E-26/200.828/2021, Brasil); Centro Português de Geo-História e Pré-História; grupo IT1485-22 (Governo Basco) e o projeto PID2021-122612OB-I00 (Ministério da Ciência e Inovação da Espanha).



Fig. 2. Pegadas de terópodes identificadas na camada basal (PS1) da sequência da Boca do chapim. A- T2; B-T3; T5. A T2 (esquerda) e T3 (direita), que pertencem ao mesmo trilho. Escala: 20 cm.

Referências

- Antunes, M.T. (1976). Dinossáurios Eocretácicos de Lagosteiros. *Ciências da Terra*, 1, 1-35.
- Antunes, M.T. & Mateus, O. (2003). Dinosaurs of Portugal. *Comptes Rendus. Palevol* 2, 77–95.
- Dantas, P., Santos V.F., Lockley, M.G. & Meyer, C.A. (1994). Footprint evidence for limping dinosaurs from the Upper Jurassic of Portugal. *Gaia*, 10 (1994), 43-48.
- Figueiredo, S.D., Rosina, P. & Figuti, L. (2015). Dinosaurs and other vertebrates from the Papo-Seco Formation (Lower Cretaceous) of southern Portugal. *J. Iber Geol.* 41 (3), 301-314.
- Figueiredo, S. D., Dinis, P., Belo, J., Rosina, P. & Strantzali, I. (2017). A new record of a possible ornithopod footprint from the Lower Cretaceous of Cabo Espichel (Sesimbra, Portugal). *Boll. Soc. Paleontol. Ital.*, 56 (2), 217-231.
- Figueiredo, S.D., Carvalho, C.N., Cunha, P. P. & Carvalho, I. S. (2021). New Dinosaur Tracks from the Lower Barremian of Portugal (Areia do Mastro Formation, Cape Espichel). *Journ. Geosc. and Envir. Protect.*, 9, 84-96.
- Figueiredo, S.D., Carvalho, I.S., Pereda-Suberbiola, X., Cunha, P.P., Antunes, V. & Diaz-Martínez, I. (2022a). New ornithopod footprints from the Areia do Mastro Formation (Lower Cretaceous), Espichel Cape (Portugal, Western Iberia) and their context in the Iberian ichnological ornithopod record. *Cret. Research*, 131, 105069.
- Figueiredo, S.D., Cunha, P.P., Pereda-Suberbiola, X., Neto de Carvalho, C., Carvalho, I.S., Buffetaut, E., Tong, H., Sousa, M.F., Antunes & V., Anastacio, R. (2022b). The dinosaur tracksite from the lower Barremian of Areia do Mastro Formation (Cabo Espichel, Portugal): implications for dinosaur behavior. *Cret. Research*, 137, 105219
- Lapparent, A.F. & Zybszewski, G. (1957). Les Dinosauriens du Portugal. *Mem. Serviços Geol. de Portugal*, n.s., 2, 1-63.
- Lockley, M. G., Meyer, C. A. & Santos, V.F. (1994). Trackway evidence for a herd of juvenile sauropods from the Late Jurassic of Portugal. *In: M.G. Lockley, V.F. dos Santos, C.A. Meyer, & A.P. Hunt, (Eds). Aspects of Sauropod Paleobiology. Gaia*, 10, 27-35.
- Santos, V.F. (2008). Pegadas de Dinossáurios de Portugal. *Museu Nacional de História Natural*. Lisboa, 124 pp.
- Santos, V., Callapez, P., Castanera, D., Barroso-Barcenilla, F., Rodrigues & N., Cupeto, C., (2015). Dinosaur tracks from the Early Cretaceous (Albian) of Parede (Cascais, Portugal): new contributions for the sauropod palaeobiology of the Iberian Peninsula. *J. Iber Geol.* 41 (1), 155 - 166.

Anthropogenic impacts on intertidal sediments from the inner Ría of Ferrol: Current and historical perspectives

Impactos antropogénicos nos sedimentos intertidais da Ria interior de Ferrol: Perspectivas atuais e históricas

J. Gardoki (1), A. Cearreta (1), M.J. Irabien (1), J. Gómez-Arozamena (2), V. Villasante-Marcos (3), A. García-Artola (1), C. Galaz-Samaniego (4), C. Peñalba (5) and F. Bessa (6)

(1) Departamento de Geología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Spain. jon.gardoqui@ehu.eus

(2) Departamento de Ciencias Médicas y Quirúrgicas, Universidad de Cantabria, Spain.

(3) Laboratorio de Magnetismo de Materiales y Magnetismo Ambiental, Instituto Geográfico Nacional, Spain.

(4) Doctorado en Biociencias, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, México.

(5) Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, México.

(6) Marine and Environmental Sciences Centre (MARE), Departamento de Ciências da Vida, Universidade de Coimbra, Portugal.

Resumo: Este trabalho aborda de forma multidisciplinar o registo sedimentar recente da Ria interior de Ferrol (NW, Espanha), região tradicionalmente ligada à atividade dos estaleiros navais e que conheceu um forte desenvolvimento industrial na década de 1950. As condições ambientais atuais são boas embora tenham sido detectados pontos de alto conteúdo ferromagnético nas proximidades de uma fábrica de aço. O registo sedimentar revela alterações ambientais locais e regionais impulsionadas principalmente por impactos antropogénicos nas imediações da ria e da sua bacia hidrográfica, com claras assinaturas estratigráficas biológicas, químicas e físicas.

Palavras-chave: Foraminíferos bentónicos, Pólen, Metais, Susceptibilidade magnética, Microplásticos.

Key words: Benthic foraminifera, Pollen, Metals, Magnetic susceptibility, Microplastics.

Galician rías, located at the NW Iberian margin, are coastal inlets with a distinctive funnel-shaped morphology that is strongly conditioned by marine processes (e.g., tides, waves, upwelling and downwelling events). These sensitive transitional systems provide several ecosystem services of great ecological and economic value. Hence, in a global change context, the analysis of their sedimentary record is vital in order to reconstruct past environmental conditions and understand and foresee future scenarios. The Ría of Ferrol (Galicia, NW Spain) is a tide-dominated and semi-enclosed embayment, historically linked to shipyard industry. The different industrial activities have left significant imprints in its sediments, allowing to trace the historical anthropogenic signature (e.g., Álvarez-Vázquez et al., 2020; Cobelo-García and Prego, 2003).

In this study, we have accomplished a comprehensive environmental reconstruction of the current and historical conditions from the inner Ría of Ferrol. We have analysed 12 intertidal surface samples and three sediment cores from a multi-proxy approach (benthic

foraminifera, grain-size, pollen content, trace metals, total organic and inorganic carbon contents, magnetic susceptibility, natural and artificial radionuclides and microplastics).

The overall current environmental conditions governing in the inner ría are good, exhibiting moderate to very high numbers of living foraminifera, with assemblages primarily driven by natural dynamics. Sediments show relatively low trace metal concentrations, whereas some sampling stations present high magnetic susceptibility due to the nearby influence of a siderurgical factory.

The sedimentary record reveals the interplay of natural and anthropogenic drivers with distinctive local and regional signatures. At a local scale, the results suggest that the inner ría was conditioned by physical modifications, with the construction of the As Pías bridge in 1968, and the urban-industrial development of Ferrol city and surrounding localities. At a regional scale, vegetation changes related to the anthropogenic introduction of taxa such as *Pinus* and *Eucalyptus* were recorded, due to regional

reforestation plans started in the 1940s. The stratigraphic analysis has also unraveled that Zn and microplastics are the main contaminants in the innermost sector of the ría. Finally, this area is also

characterized by intervals with negligible presence of microfauna, rather attributed to strong taphonomic biases (calcareous dissolution and disaggregation of agglutinated tests).

Acknowledgements: This research was financially supported by RTI2018-095678-B-C21, MCIU/AEI/FEDER, UE (MINECO) and IT1616-22 (EJ/GV) projects.

References

- Álvarez-Vázquez, M.A., Álvarez-Iglesias, P., De Uña-Álvarez, E., Quintana, B., Caetano, M. & Prego, R. (2020). Industrial supply of trace elements during the “Anthropocene”: A record in estuarine sediments from the Ria of Ferrol (NW Iberian Peninsula). *Marine Chemistry*, 223, 103825.
- Cobelo-García, A. & Prego, R. (2003). Heavy metal sedimentary record in a Galician Ria (NW Spain): background values and recent contamination. *Marine Pollution Bulletin*, 46 (10), 1253-1262.

O registo fóssil de vertebrados da região de Pombal: contributo para o conhecimento das faunas do Jurássico Superior da Bacia Lusitaniana

The fossil record of vertebrates from the Pombal region: contribute for the knowledge of the Late Jurassic faunas from the Lusitanian Basin

E. Malafaia (1,2), P. Mocho (1,2), F. Escaso (2) e F. Ortega (2)

(1) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal. efmalafaia@fc.ul.pt

(2) Grupo de Biología Evolutiva da Universidad Nacional de Educación a Distancia, Espanha

Summary: *The presence of dinosaur remains is known in the region of Pombal since the end of the 19th century, but the number of occurrences significantly increased in the last decades due to the discovery of several important paleontological localities. The Andrés fossil site is one of the localities that more information has added for the knowledge of the fossil record of vertebrates in this sector of the Lusitanian Basin. This locality yielded a diverse assemblage of vertebrates that includes fishes, lepidosaurs, crocodyliforms, pterosaurs, different dinosaur groups, and a recently discovered mammal. More recently, the discovery of other localities with noteworthy record of dinosaurs, particularly of sauropods, underlain the importance of this region for better understand the continental faunas that inhabited this sector of the Lusitanian Basin during the Late Jurassic.*

Key words: *Lusitanian Basin, Late Jurassic, fossil vertebrates, paleoecology*

Palavras-chave: Bacia Lusitaniana, Jurássico Superior, vertebrados fósseis, paleoecologia

A presença de restos fósseis de dinossáurios na região de Pombal é conhecida desde o final do século XIX, com a referência de dentes isolados de dinossáurios terópodes, atribuídos a *Megalosaurus "insignis"* (Sauvage 1897-98). Posteriormente, foram descritos outros materiais de diferentes grupos de dinossáurios, incluindo um conjunto de elementos atribuídos a uma nova espécie de terópodes, *Megalosaurus "pombali"* (Lapparent e Zbyszewski, 1957). A descoberta da jazida de Andrés, em 1988, colocou definitivamente em destaque a importância desta região para o estudo do registo fóssil de vertebrados do Jurássico Superior da Bacia Lusitaniana. Esta jazida tem proporcionado a descoberta de um abundante registo de vertebrados fósseis, representando uma fauna diversa que inclui peixes semionotiformes, pelo menos um táxon de lepidossáurios rincocéfalos, materiais atribuídos a dois grupos de crocodiliformes neosuquios, escassos dentes isolados de pterossáurios e abundantes elementos de diversos grupos de dinossáurios terópodes, saurópodes e ornitópodes (e.g., Pérez-Moreno et al. 1999; Malafaia et al. 2010). Recentemente, foi identificada uma pequena mandíbula de um mamífero entre os materiais recolhidos em Andrés, representando o primeiro exemplar deste grupo de vertebrados identificado nesta jazida. A análise preliminar do exemplar

permitiu identificar semelhanças, em particular na morfologia dentária, com materiais atribuídos a Dryolestidae descritos na Mina da Guimarães (e.g., Martin, 2000). Contudo, a possível afinidade do exemplar de Andrés com os taxa descritos na Guimarães não foi possível de determinar até ao momento. Esta elevada concentração e diversidade de vertebrados fósseis são características pouco comuns no registo do Jurássico Superior da Bacia Lusitaniana e fazem de Andrés um dos locais de referência para o estudo das faunas de vertebrados continentais do Jurássico Superior da Península Ibérica. Mais recentemente, várias outras localidades com restos de dinossáurios foram descobertas na região de Pombal, nomeadamente as jazidas de Junqueira (Mocho et al. 2017), Mouriscas e Monte Agudo (Fig. 1). Algumas destas localidades encontram-se atualmente em fase de estudo, mas, até ao momento, foram recolhidos diversos materiais atribuídos a dinossáurios saurópodes. Estão também identificadas outras localidades com evidências de restos fósseis de vertebrados que, apesar de atualmente serem fragmentários, sugerem um elevado potencial para novas descobertas que poderão acrescentar informação importante para compreender as faunas de dinossáurios do Jurássico Superior neste sector da Bacia Lusitaniana.

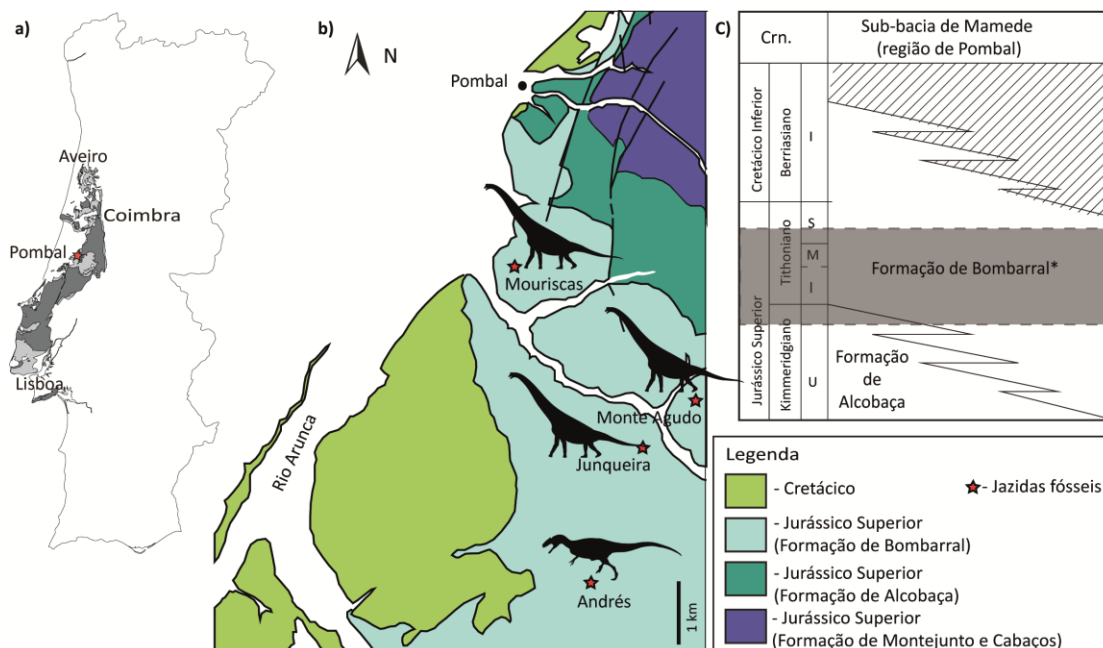


Fig. 1. Enquadramento das jazidas com fósseis de vertebrados na região de Pombal; a) depósitos sedimentares mesozoicos da Bacia Lusitaniana; b) excerto da carta geológica de Pombal com a localização das jazidas com restos fósseis de vertebrados conhecidas na região (modificada de Manuppella, 1974); c) tabela cronoestratigráfica para a região de Pombal (baseada em Azerêdo et al., 2010; * considerada Formação de Lourinhã em Fürsich et al., 2022).

Agradecimentos: Este trabalho contou com o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) - UIDB/50019/2020, CEECIND/01770/2018 e CEECIND/00726/2017. Os trabalhos de campo tiveram também o apoio da Câmara Municipal de Pombal.

Referências

- Azerêdo, A.C., Cabral, M.C., Martins, M.J., Loureiro, I.M. & Inês, N. (2010). Estudo estratigráfico dum novo afloramento da Formação de Cabaços (Oxfordiano) na região da Serra do Bouro. *Comunicações Geológicas*, 97, 5-22.
- Fürsich, F.T., Schneider, S., Werner, W., Lopez-Mir, B. & Pierce, C.S. (2022). Life at the continental–marine interface: palaeoenvironments and biota of the Alcobaça Formation (Late Jurassic, Central Portugal), with a formal definition of the unit appended. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 102, 265-329.
- Lapparent, A.F. & Zbyszewski, G. (1957). Les dinosauriens du Portugal. *Mémoire des Services Géologiques du Portugal*, n.s., 2, 1-63.
- Malafaia, E., Ortega, F., Escaso, F., Dantas, P., Pimentel, N.L., Gasulla, J.M., Ribeiro, B., Barriga, F. & Sanz, J.L. (2010). Vertebrate fauna at the *Allosaurus* fossil-site of Andrés (Upper Jurassic), Pombal, Portugal. *Journal of Iberian Geology*, 36, 193-204.
- Manuppella, G. (1974). Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000, folha 23-A, Pombal. Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos.
- Martin, T. (2000). The dryolestids and the primitive “peramurid” from the Guimarota Mine. In: T. Martin & B. Krebs (eds.). *Guimarota: a Jurassic ecosystem*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 109-120.
- Mocho, P., Royo-Torres, R., Malafaia, E., Escaso, F., Narváez, I. & Ortega F. (2017). New data on Late Jurassic sauropods of central and northern sectors of the Bombarral Sub-basin (Lusitanian Basin, Portugal). *Historical Biology*, 29(2), 151-169.
- Pérez-Moreno, B.P., Chure, D.J., Pires, C., Marques da Silva, C.M., dos Santos, V.F., Dantas, P., Póvoas, L., Cachão, M., Sanz, J.L. & Galopim de Carvalho, A.M. (1999). On the presence of *Allosaurus fragilis* (Theropoda, Carnosauria) in the Upper Jurassic of Portugal: first evidence of an intercontinental dinosaur species. *Journal of the Geological Society*, 156, 449-452.
- Sauvage, H.E. (1897–98). Vértébrés fossiles du Portugal. Contribution à l’étude des poissons et des reptiles Jurassique et du Crétacé. *Mémoire de la Direction des Travaux Géologiques du Portugal*.

Lower Cretaceous palynology and palaeoenvironments of Algarve Basin: the Arrifes section

Palinologia e paleoambientes do Cretácico Inferior da Bacia do Algarve: a secção dos Arrifes

M. Mendes (1*), G. Descamps (2), P. Fernandes (2), G. Lopes (2,3), R. Jorge (4) and Z. Pereira (1)

(1) LNEG, National Laboratory of Energy and Geology, Rua da Amieira, 4465-965, S. Mamede de Infesta, Portugal. *marcia.mendes@lneg.pt

(2) CIMA, Centre for Marine and Environmental Research, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal

(3) Plants, Photosynthesis and Soil, School of Biosciences, University of Sheffield, Alfred Denny Building, Western Bank, Sheffield S10 2TN, UK

(4) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C6, Piso 4, 1749-016, Lisboa, Portugal

Sumário: Uma análise sedimentológica e palinológica detalhada foi realizada na secção dos Arrifes, uma sucessão do Cretácico Inferior da Bacia do Algarve (sul de Portugal). A sucessão estudada é composta por calcários fossilíferos intercalados, calcários margosos e margas, sendo que os palinomorfos identificados indicam uma idade entre o Hauteriviano superior e o Barremiano superior. As principais características deposicionais e palinológicas documentadas na secção dos Arrifes sugerem uma deposição geral sob condições rasas subtidais e intertidais, marcadas por pequenas mudanças climáticas com múltiplas oscilações do nível do mar. Face a estes novos resultados, a área foi correlacionada com outras secções circundantes do Cretácico Inferior, sugerindo uma influência Tethyana durante o Hauteriviano superior, prolongando-se até ao final do Barremiano.

Palavras-chave: Palinomorfos, palinologia, sedimentologia, Cretácico, Bacia do Algarve

Keywords: Palynomorphs, palynology, sedimentology, Cretaceous, Algarve Basin

The Algarve Basin is a Meso-Cenozoic basin located in southern Portugal, cropping out along the entire south coast, from Cape Saint Vincent in the West to the Portuguese and Spanish border in the East (Fig. 1). Although Lower Cretaceous successions crop out throughout this vast area, few studies based on palynostratigraphic and palaeoenvironmental methodologies were accomplished.

Despite the extensive micropaleontological, stratigraphic and lithostratigraphic studies (e.g., Rey and Ramalho, 1974; Rey, 1983, 1984, 1986, 2006; Berthou and Leereveld, 1990; Heimhofer et al., 2007) the Lower Cretaceous successions of the Algarve Basin still lack the characterization of detailed dating and environmental models, since they are often contradictory or challenging to constrain (e.g., Rey and Ramalho, 1974; Rey, 2006; Dinis et al., 2020).

Forty-eight samples of marls and marly limestones were analysed for palynological and palynofacies studies, together with detailed sedimentological descriptions in order to establish a detailed palynostratigraphy age and a depositional environmental setting.

Sedimentological and palynological results suggest deposition in a gentle slope carbonate ramp. Mid to outer carbonate ramp zones, characterised by subtidal conditions, make the most of the carbonate facies of the Arrifes section. The vertical organisation of the carbonate ramp depositional settings allows the recognition of several sedimentary intervals related to sea-level changes and the progradation of the carbonate ramp. Overall, there is an increase in the water column towards the top of the section.

Using key dinoflagellate cysts, the section is dated as latest Hauterivian to late Barremian, with three range intervals being recognised: i) latest Hauterivian-earliest Barremian, based on the occurrence of *Subtilisphaera perlucida*; ii) early to earliest late Barremian, based on the first occurrence of *Subtilisphaera scabrata*; and iii) late Barremian, based on the first occurrence of species of *Odontochitina*, such as *O. operculata*. These new data suggest that the Arrifes section is older than previously considered (Aptian age; Berthou et al., 1983). However, more studies are needed to reassess the models of the basin to a regional level.

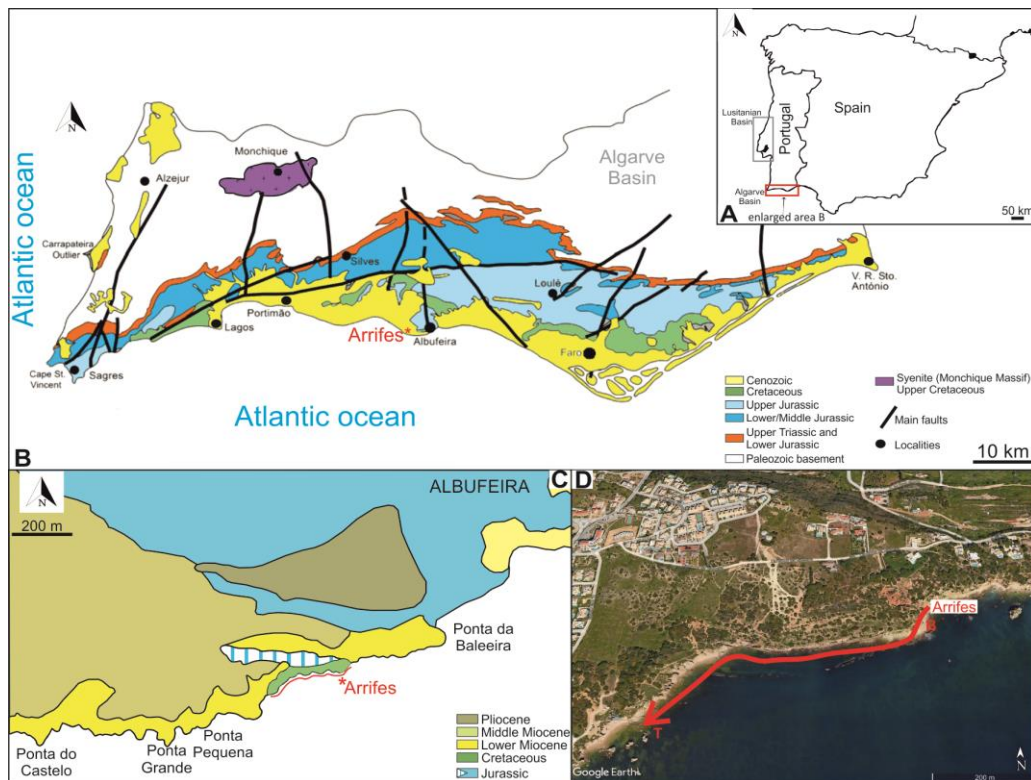


Fig. 1. A – the Iberian Peninsula with Lusitanian Basin (grey) and Algarve Basin (red) shown within the boxes; B – General geology of the Algarve Basin; C – Simplified geological map of the Albufeira region showing the location of the Arrifes section (adapted from Rocha et al., 1989); D – Location of the study area along the Arrifes section (red arrow indicates the stratigraphic sequence that becomes younger to the west; B=base and T=top of the Arrifes section, from Mendes et al., 2023 and references herein).

Acknowledgements: This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds (PIDDAC) – UIDB/50019/2020. Gabrielle Descamps, Paulo Fernandes, and Gilda Lopes would like to acknowledge the financial support of the FCT to CIMA through UID/00350/2020CIMA.

References

- Berthou, P.Y., Correia, F., Prates, S. & Taugourdeau, J. (1983) Essai de synthèse du Crétacé de l'Algarve: biostratigraphie, paléogéographie et sédimentation argileuse. I.: biostratigraphie et paléogéographie. Bulletin d'information des géologues du bassin de Paris, 20(2), 3-18.
- Mendes, M., Descamps, G.S., Fernandes, P., Lopes, G., Jorge, R.C.G.S. & Pereira, Z. (2023) The upper Hauterivian-Barremian (Lower Cretaceous) Arrifes section (Algarve Basin, Southern Portugal): A palynostratigraphic and palaeoenvironmental approach. *Cretaceous Research*, 144, 105433.
- Rey, J. (1983) Le Crétacé de l'Algarve: Essai de synthèse. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 69, 87-101.
- Rey, J. (1984) Mégaséquences et séquences élémentaires du Crétacé inférieur portugais. Volume d'hommages au Géologue G. Zbyzsewski. C.N.R.S., Recherches sur les Civilisations, Paris, 87-99.
- Rey, J. (1986) Micropaleontological assemblages, paleoenvironments and sedimentary evolution of Cretaceous deposits in the Algarve (southern Portugal). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 55, 233-246.
- Rey, J. (2006) Les formations Crétacées de l'Algarve Occidental et Central. *Comunicações Geológicas*, 93, 39-80.
- Rey, J. & Ramalho, M. (1974) Le Crétacé inférieur de l'Algarve occidental (Portugal). *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 5, 155-181.
- Berthou, P.Y. & Leereveld, H. (1990) Stratigraphic implications of palynological studies on Berriasian to Albian deposits from western and southern Portugal. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 66, 313-344.
- Heimhofer, U., Hochuli, P.A., Burla, S. & Weissert, H. (2007) New records of Lower Cretaceous angiosperm pollen from Portuguese coastal deposits: Implications for the timing of the early angiosperm radiation. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 144, 37-76.
- Dinis, P., Carvalho, J., Callapez, P., Mendes, M.M., Santos, V. & Fernandes, P. (2020) Composition of Lower Cretaceous mudstones of the Algarve Basin and implications for Iberian palaeoclimates. *Cretaceous Research*, 110, 104404.

Palinologia do Cretácico Inferior de Catefica (Torres Vedras) – estado de conhecimentos

Palynology of the Lower Cretaceous of Catefica (Torres Vedras) - state of the art

M. M. Mendes (1,*), P. P. Cunha (1) e P. Dinis (1)

Universidade de Coimbra; MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente / ARNET – Rede de Investigação Aquática; Departamento de Ciências da Terra, Rua Sílvio Lima, Pólo II, 3030-790 Coimbra.

* Autor correspondente: mmendes@mail.telepac.pt

Summary: Results of palynological studies on the Lower Cretaceous of Catefica site are presented here. The spore-pollen assemblage was extracted from sedimentary deposits of the Almargem Formation exposed in a road cut, between the villages of Catefica and Mugideira, ca. 4 km south of Torres Vedras (western Portugal). The outcrop consists of fluvial cross-bedded sandstones and minor conglomerates, intercalated with dark organic mud levels. It was founded a rich and generally well preserved palynoflora that contributes to the reconstruction of the vegetation diversity and to enlighten the environmental conditions. The palynoflora is dominated by fern spores and gymnosperm pollen. Angiosperm pollen grains are relatively common, but subordinate among the palynomorphs. The available palynological data supports the evidence of humid conditions related to a shallow fluvial environment. Moreover, the presence of xerophytic components, together with bisaccate pollen grains, reflects the presence of conifer vegetation in a relatively dry climate.

Key words: Palynomorphs, angiosperms, Almargem Formation, Lower Cretaceous, Portugal.

Palavras-chave: Palinomorfos, angiospérmicas, Formação de Almargem, Cretácico Inferior, Portugal.

Na Bacia Lusitânica são frequentes jazidas vegetais do Cretácico. Têm sido recolhidos numerosos restos de vegetais, bem preservados e com elevado valor sistemático, contribuindo para o conhecimento da diversidade e da composição da flora, desde o aparecimento das angiospérmicas no início do Cretácico, até à sua diversificação e dominância ecológica nos finais deste período.

O estudo das palinofloras do Cretácico Inferior da Bacia Lusitânica têm possibilitado a aquisição de conhecimentos significativos, que complementam a informação obtida a partir das macrofloras e mesofloras. Além do mais, têm fornecido pistas importantes para a reconstrução de ecossistemas antigos (e.g., Mendes et al., 2018, 2022; Mendes & Friis, 2018).

Na localidade de Catefica, localizada cerca de 4 km SSE de Torres Vedras (Bacia Lusitânica), existe um afloramento com depósitos fluviais que apresentam arenitos intercalados com níveis argilosos com restos carbonosos, bem como alguns níveis de conglomerados (Fig. 1).



Fig. 1. Afloramento de Catefica, no qual se observam os níveis argilosos de cor cinzenta escura que foram amostrados, estando intercalados em arenitos. Observam-se geometrias de canal fluvial.

De acordo com Jaques Rey (comunicação pessoal), os níveis fossilíferos de Catefica encontram-se, provavelmente, na base do Membro Superior da Formação de Almargem, o que lhes confere a idade provável de Aptiano superior-Albiano inferior. O nosso reconhecimento de campo não permitiu esclarecer se o seu posicionamento é no topo do Membro Inferior, ou se é na base do Membro Superior da Formação de Almargem.

A flora de Catefica contém angiospérmicas e “não angiospérmicas” (Friis *et al.*, 2011). Identificaram-se: restos bem preservados atribuíveis a angiospérmicas, tais como, sementes, frutos, flores e estames com grãos de pólen *in situ*; restos de coníferas da família da família Cheirolepidiaceae, atribuíveis aos géneros *Pseudofrenelopsis* Nathorst e *Watsoniocladius* V.Sriniv.; bem como numerosos fragmentos de fetos e hepáticas (Friis *et al.*, 2011). Neste trabalho apresentam-se mais resultados desta palinoflora.

No estudo efetuado foram processadas 10 amostras de sedimento, de acordo com as técnicas padrão propostas por Traverse (2007) e todas se revelaram extremamente produtivas. Para cada amostra montaram-se cinco preparações definitivas. As lâminas foram observadas num microscópio óptico Nikon Eclipse E600 e todos os espécimes foram fotografados com uma máquina fotográfica digital Nikon DS-L2. O estudo de palinóforos efectuado por observação em microscopia óptica foi complementado com observações realizadas num microscópio electrónico de varrimento (MEV) de marca/modelo Hitachi S-3700N a 5kV (Fig. 2).

A palinoflora é rica e diversa, e dominada por esporos de fetos, atribuíveis às famílias Anemiaceae, Cyatheaceae/Dicksoniaceae, Lygodiaceae e Osmundaceae, refletindo a existência de vegetação pteridófita de pântano. A ocorrência de representantes de briófitas (*Taurocusporites*) e licófitas (*Neoraistrickia*) suportam a existência de condições húmidas locais, associadas a pequenos lagos na planície aluvial. As gimnospérmicas encontram-se representadas, essencialmente, por pólenes do género *Classopollis* produzidos por xerófitas. A abundância e a ocorrência de grãos de pólen do género *Araucariacites* reflecte, sobretudo,

a presença de vegetação dominada por coníferas que cobria áreas relativamente secas em terras altas do interior. Embora menos frequentes, os pólenes de angiospérmicas estão bem representados nesta palinoflora, destacando-se o género *Clavatipollenites*.

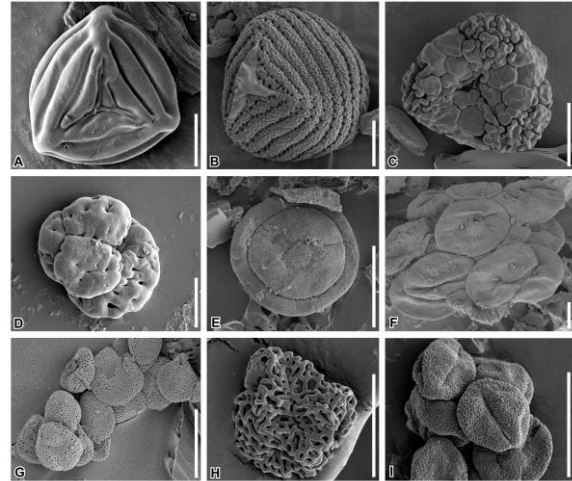


Fig. 2. Fotografias de palinóforos representativos obtidas através de microscopia electrónica de varrimento. A. *Cicatricosisporites* sp. B. *Costatoperforosporites* friisiae. C. *Gregussisporites* orientalis D. *Patellasporites* tavaredensis. E. *Classopollis* noeli. F. *Araucariacites* australis. G. *Clavatipollenites* hughesii. H, I. Pólenes tricolpados de angiospérmicas. Escala: 20 μ m para todos os espécimes.

Apesar da vizinhança geográfica, a palinoflora de Catefica apresenta mais semelhanças, em termos de composição e diversidade, com palinofloras atribuídas ao Aptiano Superior a Albiano, identificadas na parte norte da Bacia Lusitânica, do que com a palinoflora de Torres Vedras, atribuível ao Barremiano superior (Mendes *et al.*, 2018). Existe, porém, alguma similitude com a palinoflora de Torres Vedras, indicando que a idade provável de Catefica deverá ser Aptiano terminal.

Agradecimentos: Trabalho financiado por fundos nacionais através da FCT, nos projetos UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020 (MARE) e LA/P/0069/2020 (Laboratório Associado ARNET).

Referências

- Friis, E.M., Crane, P.R. & Pedersen, K.R. (2011). *Early flowers and angiosperm evolution*. Cambridge University Press.
- Mendes, M.M., Barrón, E., Dinis, P., Rey, J. & Batten, J.D. (2018). A new palynoflora from upper Barremian–lower Aptian rocks at Casal do Borracho, Torres Vedras, western Portugal, and its palaeoecological significance. *Cretaceous Research* 90, 363–374.
- Mendes, M.M. & Friis, E.M. (2018). The Nossa Senhora da Luz flora from the Early Cretaceous (early Aptian–late Albian) of Juncal in the western Portuguese Basin. *Acta Palaeobotanica* 58, 159–174.
- Mendes, M.M., Vajda, V., Cunha, P.P., Dinis, P., Svobodová, M., Doyle, J.A. (2022). A Lower Cretaceous palynoflora from Carregueira (Lusitanian Basin, westernmost Iberia): taxonomic, stratigraphic and palaeoenvironmental implications. *Cretaceous Research*, 130 (article number 105036).
- Traverse, A. (2007). *Paleopalynology*. Second Edition. Springer.

Primeiro registo de âmbar no Cretácico Inferior de Portugal

First record of amber in the Early Cretaceous of Portugal

M. M. Mendes (1,*), R. Pereira (2), P. P. Cunha (1), I. S. Carvalho (3), E. K. Piovesan (4), P. Dinis (1) e R. M. Melo (4)

(1) Universidade de Coimbra; MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente / ARNET – Rede de Investigação Aquática; Departamento de Ciências da Terra, Portugal.

(2) Laboratório de Geologia Sedimentar e Ambiental (LAGESE), Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

(3) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geologia, CCMN/IGEO, 21910-200 Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Brasil; Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Portugal.

(4) Laboratório de Micropaleontologia Aplicada (LMA), Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

*Autor correspondente: mmmendes@mail.telepac.pt

Summary: *It is described the first record of amber, from the Early Cretaceous of Portugal. The amber pieces are ca. 2-3 cm in length and were recently recognized in Portela da Vila site (small village of Ramalhal), about 8 km NNE of Torres Vedras, western Portuguese Basin. The amber-bearing horizon was a gray and organic-rich clay and probably occurs in the innermost equivalent of the São Lourenço or the Santa Susana formations (Lusitanian Basin), considered to be of Valanginian or Hauterivian age. Twigs of the extinct cheirolepidiaceae conifers assigned to genera *Frenelopsis* and *Pseudofrenelopsis* are common in the same clay bed. The amber was analyzed via scanning electron microscopy and under a multifocal stereomicroscope. The biomarkers analysis will allow us to define the plant producer.*

Key words: *amber, conifers, Cheirolepidiaceae, Early Cretaceous, Portugal.*

Palavras-chave: âmbar, coníferas, Cheirolepidiaceae, Cretácico Inferior, Portugal.

O âmbar é uma resina vegetal fossilizada proveniente de gimnospérmicas e angiospérmicas, cuja composição molecular é dada por terpenos de diversas classes, tais como abietanos, labdanos, pimaranos e kauranos (Langenheim, 2003).

Nos depósitos cretácicos da Europa há registos de âmbar distribuídos pela Rússia, Áustria, França e Espanha, associados às famílias Araucariaceae e Cheirolepidiaceae (Martinez-Delclòs *et al.*, 2003). Os âmbares de Espanha estão entre os mais estudados, tendo sido relacionados com coníferas da família Cheirolepidiaceae a partir de dados botânicos e geoquímicos (Menor-Salván *et al.*, 2010).

Recentemente, foi identificado âmbar no Cretácico Inferior da Bacia Lusitânica, em afloramento situado em Portela da Vila, próximo da localidade de Ramalhal (Torres Vedras). A sucessão sedimentar estudada apresenta espessas camadas de arenitos bejes a esbranquiçados, muito grosseiros a médios, neles predominando laminação entrecruzada côncava, alternantes com, geralmente menos espessas, camadas lutíticas de cor cinzenta. Definem-se sucessivas geometrias de canal fluvial, muito mais largos do que profundos (Fig. 1A). A sucessão é interpretada como sendo de deposição fluvial distal; corresponde ao equivalente mais interior das

formações de São Lourenço ou de Santa Susana (estas, tipicamente, com depósitos siliciclásticos estuarinos e litorais, bem como costeiros siliciclásticos-carbonatados) de idade valanginiana a hauteriviana (Dinis *et al.*, 2008). Nos níveis lutíticos escuros, ricos de material carbonoso, foram recolhidos fragmentos de âmbar dispersos no sedimento, bem como numerosos restos de coníferas, nomeadamente da família Cheirolepidiaceae atribuíveis aos géneros *Frenelopsis* Schenk e *Pseudofrenelopsis* Nathorst. Não foram identificados restos de angiospérmicas.

O âmbar estudado está representado por fragmentos com dimensão até 3 cm (Fig. 1B), de cor amarelo-ocre a castanho-avermelhada. Foram fotografados ao microscópio electrónico de varrimento (*Phenom XL*) e estereomicroscópio multifocal (*Zeiss Axio Zoom V16*) no Laboratório de Micropaleontologia Aplicada da Universidade Federal de Pernambuco (Brasil).

Atendendo aos restos de coníferas identificados nos níveis amostrados e considerando o registo palinológico de gimnospérmicas em palinofloras do Cretácico Inferior de Portugal (*e.g.*, Mendes *et al.*, 2018, 2022), nesta fase preliminar é razoável inferir que as resinas tenham sido produzidas por cheirolepidiáceas ou araucariáceas. Ulteriormente

serão realizadas análises para a identificação de biomarcadores e estudos quimiotaxonómicos, com a finalidade de definir a família produtora do âmbar.

Destaca-se que este é o primeiro registo de âmbar no Cretácico Inferior da Bacia Lusitânica, o que contribui para ampliar o conhecimento acerca da distribuição das floras produtoras de resina do Cretácico da Europa.

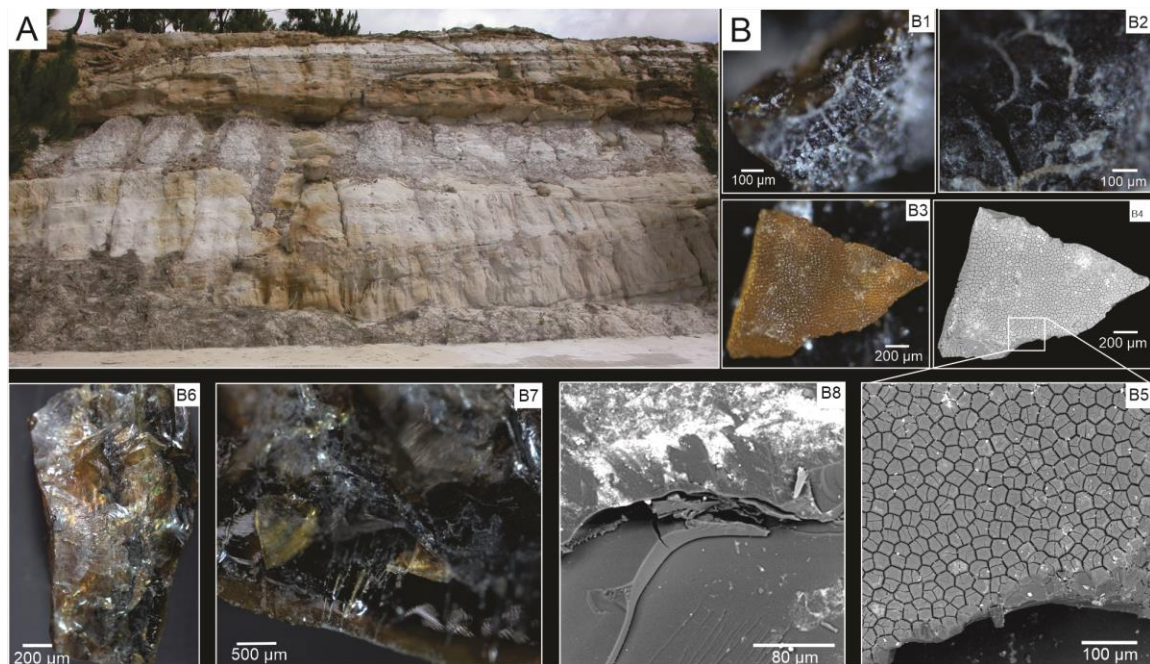


Fig. 1. A. Afloramento de Portela da Vila, onde foram colhidas as amostras; B. Imagens de amostras de âmbar em estereomicroscópio (B1-B3 e B6-B7) e microscópio eletrónico de varrimento (B4-B5 e B8). Fraturas conchoidais típicas estão presentes (B6 e B7), bem como, texturas provenientes do endurecimento da resina por exposição subaérea, perda de humidade e compostos voláteis, na forma de fendas de dessecação (B3, B4 e B5).

Agradecimentos: Financiado por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, nos projectos UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020 (MARE) e LA/P/0069/2020 (Laboratório Associado ARNET). E.K. Piovesan agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (nº 309766/2021-4).

Referências

- Dinis, J.L., Rey, J., Cunha, P.P., Callapez, P. & dos Reis, R.P. (2008). Stratigraphy and allogenic controls of the western Portugal Cretaceous: an updated synthesis. *Cretaceous Research*, 29, 772-780.
- Langenheim, J.H. (2003). *Plant Resins: Chemistry, Evolution, Ecology and Ethnobotany*. Timber Press, Portland, Cambridge, 586 pp.
- Martinez-Delclòs, X., Briggs, D.E.G. & Peñalver, E. (2004). Taphonomy of insects in carbonates and amber. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 203, 19-64.
- Mendes, M.M., Barrón, E., Dinis, P., Rey, J. & Batten, J.D. (2018). A new palynoflora from upper Barremian–lower Aptian rocks at Casal do Borracho, Torres Vedras, western Portugal, and its palaeoecological significance. *Cretaceous Research*, 90, 363–374.
- Mendes, M.M., Vajda, V., Cunha, P.P., Dinis, P., Svobodová, M. & Doyle, J.A. (2022). A Lower Cretaceous palynoflora from Carregueira (Lusitanian Basin, westernmost Iberia): taxonomic, stratigraphic and palaeoenvironmental implications. *Cretaceous Research*, 130, 105036.
- Menor-Salván, C., Najarro, M., Velasco, F., Rosales, I., Tornos, F. & Simoneit, B.R.T. (2010). Terpenoids in extracts of Lower Cretaceous ambers from the Basque-Cantabrian Basin (El Soplao, Cantabria, Spain): Paleochemotaxonomic aspects. *Organic Geochemistry*, 41, 1089–1113.

New discoveries from the Upper Cretaceous of the Iberian Ranges (Spain): an input to reconstruct the evolutionary history of the European titanosaurs

Novas descobertas no Cretácico Superior no Sistema Ibérico (Espanha): um contributo para reconstruir a história evolutiva dos titanossáurios da Europa

P. Mocho (1,2), F. Escaso (2), F. Marcos-Fernández (3), A. Páramo (2,4), A. Pérez-García (2), D. Vidal (2,5) and F. Ortega (2)

(1) Instituto Dom Luíz, Faculdade de Ciência, Universidade de Lisboa, Portugal. p.mochopaleo@gmail.com

(2) Grupo de Biología Evolutiva, UNED, Madrid, Spain.

(3) Facultad de Bellas Artes, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain.

(4) Centro de Interpretación Paleontológica de La Rioja, Government of La Rioja, Spain.

(5) Department of Organismal Biology, University of Chicago, Chicago, USA.

Sumário: *Várias localidades foram descobertas no Cretácico Superior do Sistema Ibérico, na Península Ibérica. Três destas novas jazidas contêm abundantes restos de dinossáurios saurópodes. Algora (Guadalajara, Espanha) em estratos cenomanianos da Formação Arenas de Utrillas, e Lo Hueco (Fuentes, Cuenca) e Poyos (Sacedón, Guadalajara) dos níveis do Campaniano superior-Maastrichtiano inferior da Formação Villalba de la Sierra. Numerosos exemplares de titanossáurios têm dado origem a importante informação sobre a história evolutiva deste grupo na Europa, com pelo menos duas linhagens distintas do clado Lithostrotia: (1) uma linhagem com afinidades a formas gondwânicas no Cenomaniano; e (ii) uma linhagem de formas exclusivas de domínio europeu durante o Campaniano-Maastrichtiano correspondente ao clado Lirainosaurinae, incluindo Lirainosaurus, Lohuecotitan, Atsinganosaurus, Ampelosaurus e Paludititan.*

Palavras-chave: *Dinossáurios, Península Ibérica, Sistemática Filogenética, Titanosauria, Lo Hueco*

Key words: Dinosaurs, Iberian Peninsula, Phylogenetic systematics, Titanosauria, Lo Hueco

In recent years several new localities containing sauropod fossil remains have been found in the Upper Cretaceous of the Iberian Ranges (Spain), especially, in the Cenomanian and Campanian-Maastrichtian sedimentary levels (Ortega et al. 2015; Pérez-García et al. 2020). These new remains, including new articulated and associated specimens, will be important to re-analyze the uncertain phylogeny of the European titanosaurs. The discovery of new material in the Cenomanian of the Iberia is important because dinosaurian remains are relatively scarce in Europe for this stage. Contrary, the Campanian-Maastrichtian strata of the Ibero-Armorican domain are rich in sauropod remains, especially titanosaurs, with six described taxa. However, most of these taxa are mainly represented by holotypes restricted to a single bone or a to small set of associated bones plus referred material from the same multi-taxic bone beds in which the degree of skeletal articulation or association is low and where more than one titanosaur taxon may be

represented. This resulted in a complex systematics for the Late Cretaceous Ibero-Armorican titanosaurs due the absence of partially complete specimens with unquestionable association. We will provide an overview on several new titanosaurian associations found in the fossil-sites of Algora (Cenomanian) and Lo Hueco and Poyos (Campanian-Maastrichtian), located in the Castilla-La Mancha region (Spain). This information will be key to improve the resolution on the evolutionary history of the clade during this period in the European domain.

Algora is a vertebrate fossil site located in the Cenomanian levels of the Arenas de Utrillas Formation (Guadalajara, Central Spain). This fossil site is rich in turtle and other reptilian remains, including plesiosaurs, crocodyliforms and dinosaurs. Sauropods are the most abundant dinosaurian group of the fossil-site, and this sauropod fossil assemblage corresponds to the richest sauropod fossil accumulation found in the Cenomanian of Europe. A first cladistic analyses placed the Algora sauropod

within Lithostrotia, in a more derived position than *Malawisaurus*, in a clade which includes *Rapetosaurus* (Mocho et al. 2019). Recent paleontological expeditions in Algora, revealed several new specimens in the main fossil accumulation, and identified a few new locations with sauropod remain nearby the original site. We testify the presence of more than two individuals in the main accumulation, and a more complex taxonomic scenario. Our preliminary results, suggests that the most abundant form shows affinities with Gondwanan taxa, and is not related with the Campanian-Maastrichtian taxa of Europe.

In recent years, two important fossil localities have been discovered, Lo Hueco (Fuentes, Cuenca) and Poyos (Sacedón, Guadalajara) were found in upper Campanian-lower Maastrichtian levels of the Villalba de la Sierra Formation, which is located at the southwestern branch of the Iberian Ranges. Lo Hueco represents a multitaxic bonebed, which has yielded more than 10,000 fossils of which nearly half corresponds to titanosaurian remains, including several partial skeletons, mostly articulated or with low dispersion. *Lohuecotitan pandafilandi* was the first established taxon for Lo Hueco; and the holotype is a partially articulated individual including axial and appendicular elements (Díez Díaz et al. 2016). The detailed description of *Lohuecotitan* is revealing the presence of shared features with the titanosaur *Paludititan*, from the Maastrichtian of the Hațeg Basin (Romania). We briefly present seven new partial individuals (HUE-EC-02, -03, -04, -05, -06, -11

and -13) that are providing relevant information for codification and scoring of morphological characters.

The new locality of Poyos is also yielding new titanosaurian material (eggs and bones) and a preliminary analysis allows us to identify the presence of at least four sauropod individuals, which can be referred to Lithostrotia. However, the full description of these new specimens still needs to be performed in order to establish the phylogenetic relationship of these sauropods with other forms recognized in the Ibero-Armorican domain. No clear lirainosaurine features were recognized in the available remains, and two markedly distinct caudal vertebral morphotypes were identified in this locality, suggesting for the presence of at least two different taxa. The morphology of the dorsal vertebrae in the most complete sauropod individual of Poyos is distinct from titanosaurian forms of Lo Hueco.

Preliminary phylogenetic analyses recover *Lohuecotitan*, HUE-EC-02 and *Paludititan* as possible members of Lirainosaurinae together other Ibero-Armorican taxa (i.e., *Lirainosaurus*, *Ampelosaurus* and *Atsinganosaurus*); and Lirainosaurinae is considered as an early branching clade of Saltasaurioidea. The titanosaurian diversity recorded in the Upper Cretaceous of the Iberian Ranges is represented by at least one taxon in the Cenomanian and three to five taxa in the Campanian-Maastrichtian: two or more different forms in Lo Hueco (the presence of up to four different taxa have been discussed), and one taxon in Poyos, which seems to be distinct from the ones recorded in Lo Hueco.

Acknowledgements: This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds (PIDDAC) – UIDB/50019/2020-IDL, CEEC Individual contract CEECIND/00726/2017 (PM); Ministerio de Ciencia e Innovación of Spain (PID2019-111488RB-I00) and by the Consejería de Educación, Cultura y Deportes, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (SBPLY/21/180801/000045, SBPLY/22/180801/000027, SBPLY/21/180801/000005 and SBPLY/22/180801/000020).

References

- Díez Díaz, V., Mocho, P., Páramo, A., Escaso, F., Marcos-Fernández, F., Sanz, J.L. & Ortega, F. (2016). A new titanosaur (Dinosauria, Sauropoda) from the Upper Cretaceous of Lo Hueco (Cuenca, Spain). *Cretaceous Research*, 68, 49-60.
- Mocho, P., Pérez-García, A., Martín Jiménez, M. & Ortega, F. (2019). New remains from the Spanish Cenomanian shed light on the Gondwanan origin of European Early Cretaceous titanosaurs. *Cretaceous Research*, 95, 164-190.
- Ortega, F., Bardet, N., Barroso-Barcenilla, F., Callapez, P.M., Cambra-Moo, O., Daviero-Gómez, V., Díez Díaz, V., Domingo, L., Elvira, A., Escaso, F., García-Oliva, M., Gómez, B., Houssaye, A., Knoll, F., Marcos-Fernández, F., Martín, M., Mocho, P., Narváez, I., Pérez-García, A., Peyrot, D., Segura, M., Serrano, H., Torices, A., Vidal, D. & Sanz, J.L. (2015). The biota of the Upper Cretaceous site of “Lo Hueco” (Cuenca, Spain). *Journal of Iberian Geology*, 41(1), 83-99.
- Pérez-García, A., Bardet, N., Fregenal-Martínez, M.A., Martín-Jiménez, M., Mocho, P., Narváez, I., Torices, A., Vullo, R. & Ortega, F. (2020). Cenomanian vertebrates from Algora (central Spain): New data on the establishment of the European Upper Cretaceous continental faunas. *Cretaceous Research*, 115, 104566.

The giant sauropod dinosaurs of Pombal: new discoveries

Os dinossáurios saurópodes gigantes de Pombal: novas descobertas.

P. Mocho (1,2,3), E. Malafaia (1,2), F. Escaso (2), J. M. Gasulla (2), F. Marcos-Fernández (4,2), I. Narváez (2), J. Órfão (1), A. Páramo (2,5), D. Vidal (6,2) and F. Ortega (2)

- (1) Instituto Dom Luíz, Faculdade de Ciência, Universidade de Lisboa, Portugal. p.mochopaleo@gmail.com
 (2) Grupo de Biología Evolutiva, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Spain.
 (3) Laboratório de Paleontologia e Paleocologia, Sociedade de História Natural, Portugal.
 (4) Facultad de Bellas Artes, Universidad Complutense de Madrid, Spain.
 (5) Centro de Interpretación Paleontológica de La Rioja, Government of La Rioja, Spain.
 (6) Department of Organismal Biology, University of Chicago, Chicago, USA.

Sumário: O registo de dinossáurios saurópodes no Jurássico Superior da Bacia Lusitaniana é internacionalmente conhecido. Nos últimos anos, novas jazidas com dinossáurios saurópodes foram encontradas nos depósitos sedimentares do Jurássico Superior de Pombal (Portugal) e em áreas limítrofes. As jazidas de Junqueira, Mouriscas e Monte Agudo são as localidades mais relevantes e deram origem a numerosos restos de saurópodes, incluindo indivíduos em articulação ou em associação. Estas novas descobertas são aqui apresentadas, algumas delas pela primeira vez, com o estabelecimento de uma aproximação sistemática preliminar, com base nos dados disponíveis. Os táxons identificados nestas localidades podem ser atribuídos com confiança ao clado Titanosauriformes, com base na morfologia das vértebras dorsais e das costelas. Estes exemplares correspondem aos maiores indivíduos de saurópodes encontrados no Jurássico Superior Europeu.

Palavras-chave: Dinossáurios, Bacia Lusitaniana, Sistemática filogenética, Titanosauriformes

Key words: Dinosaurs, Lusitanian Basin, Phylogenetic systematics, Titanosauriformes

The Late Jurassic sauropods of Portugal have been the focus of several recent studies centered on the review and description of known and unpublished specimens, including many new occurrences found in the Mamede (e.g., Pombal), Consolação (e.g., Lourinhã) and Turcifal (e.g., Torres Vedras) sub-basins. The Late Jurassic sauropod fauna of Portugal is diverse and comprises turiasaurs, diplodocines and macronarians, being composed by five valid taxa. The inclusion of these taxa in new and different extensive datasets of morphological characters is improving the phylogenetic positions and testing the validity of the Portuguese taxa: (i) *Zby atlanticus* needs a new diagnosis but seems to be a member of Turiasauria closely related with *Turiasaurus riodevensis*; (ii) two diplodocines are identified - a possible member of the genus *Diplodocus* found in Praia de Valmitão (Lourinhã); *Dinheirosaurus lourinhanensis*, with an uncertain position within Diplodocinae and possible closely related with *Supersaurus vivianae* from the Upper Jurassic of the Morrison Formation (USA); (iii) *Lourinhasaurus alenquerensis* is a member of Camarasauridae sharing several features with *Camarasaurus* (the inclusion *L. alenquerensis* within the *Camarasaurus* genus needs to be tested); (iv) *Lusotitan atalaiensis* is recovered as a member of Brachiosauridae; and (v) *Oceanotitan dantasi* is a macronarian form and might represent one of the oldest occurrences of Somphospondyli in the fossil

record (e.g., Mannion et al., 2012, 2013; Mateus et al., 2014; Mocho et al., 2014, 2017a, 2017b, 2019b).

The Upper Jurassic outcrops of the region around Pombal, Leiria and Batalha are revealing in recent years new vertebrate fossil-sites that are helping us to expand our knowledge on the terrestrial ecosystems of this sector of the Lusitanian Basin, and particularly of the Mamede sub-basin (e.g., Escaso et al., 2007; Malafaia et al., 2010). Sauropod specimens from this region are revealing a diverse fauna composed by turiasaurs, diplodocines and macronarians, including members of the clade Titanosauriformes. The new discoveries will be important to better understand the evolutionary history of Late Jurassic sauropods in the Mamede Sub-basin, but also to understand the systematics of some groups that preserve a poor fossil record in other sectors of the basin, such as Brachiosauridae.

Herein, we provide a preliminary overview on the most important new sauropod discoveries on the Pombal region including three new fossil localities: Junqueira, Monte Agudo and Mouriscas. In 2015 a new sauropod specimen was collected in Junqueira (Pombal) including a set of disarticulated axial elements from one sauropod individual (dorsal vertebrae and ribs). Monte Agudo is another fossil-site, which is currently under study but that yielded, at the moment, an articulated series of dorsal

vertebrae and ribs found in anatomical position. Finally, Mouriscas has a fossil-assemblage composed by multiple and disarticulated axial and appendicular elements, which corresponds to at least one sauropod individual. The field work is still ongoing in Monte Agudo and Mouriscas quarries. These individuals are characterized by the enormous size of some of their elements, among the biggest ones found in Upper Jurassic of Europe (around 25 meters long). They are preliminary referred to Titanosauriformes clade due to the presence of several features shared with the members of the

group (e.g. camellate internal bone tissue, anterior dorsal ribs with mediolaterally compressed distal end) and possibly to the subclade Brachiosauridae. Brachiosaurids are particularly rare in the Upper Jurassic of Europe, and these new specimens will add important data about the evolutionary history of this group in the Iberian Peninsula during this period, which is only represented by *Lusotitan atalaiensis* (Peralta, Portugal) and, possibly, *Galveosaurus herreroi* (Galve, Spain).

Acknowledgements: This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds (PIDDAC) – UIDB/50019/2020-IDL, and through the CEEC Individual contract CEECIND/00726/2017 (PM), CEECIND/01770/2018 (EM) and UI/BD/151441/2021 (JO). We want to thank the support of Câmara Municipal de Pombal, Junta de Freguesia de Vila Cã, and União de Freguesias de Santiago e São Simão de Litém e Albergaria dos Doze. We are also grateful to José Amorim, Fernando de Jesus Francisco, Joel Silva, Rogério Alves e Guilherme Gameiro. The Willi Hennig Society sponsors TNT cladistics software.

References

- Escaso, F., Ortega, F., Dantas, P., Malafaia, E., Pimentel, N.L., Pereda-Subelbiola, X., Sanz, J.L., Kullberg, J.C., Kullberg, M.C. & Barriga, F. 2007. New evidence of shared Dinosaur across Upper Jurassic Proto-North Atlantic: *Stegosaurus* from Portugal. *Naturwissenschaften*, 94, 367-374.
- Malafaia, E., Ortega, F., Escaso, F., Dantas, P., Pimentel, N.L., Gasulla, J.M., Ribeiro, B., Barriga, F. & Sanz, J.L. (2010). Vertebrate fauna at the Allosaurus fossil-site of Andrés (Upper Jurassic), Pombal, Portugal. *Journal of Iberian Geology*, 36, 193-204.
- Mannion, P.D., Upchurch, P., Barnes, R.N. & Mateus, O. (2013). Osteology of the Late Jurassic Portuguese sauropod dinosaur *Lusotitan atalaiensis* (Macronaria) and the evolutionary history of basal titanosauriforms. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 168, 98-206.
- Mannion, P., Upchurch, P., Mateus, O., Barnes, R.N. & Jones, M.E.H. (2012). New information on the anatomy and systematic position of *Dinheirosaurus lourinhanensis* (Sauropoda: Diplodocoidea) from the Late Jurassic of Portugal, with a review of European diplodocoids. *Journal of Systematic Palaeontology*, 10:521-551.
- Mateus, O., Mannion, P.D. & Upchurch, P. (2014). *Zby atlanticus*, a new turiasaurian sauropod (Dinosauria, Eusauropoda) from the Late Jurassic of Portugal. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 34, 618-634.
- Mocho, P., Royo-Torres, R., & Ortega, F. (2014). Phylogenetic reassessment of *Lourinhasaurus alenquerensis*, a basal Macronaria (Sauropoda) from the Upper Jurassic of Portugal. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 170, 875-916.
- Mocho, P., Royo-Torres, R. & Ortega, F. (2017a). New data of the Portuguese brachiosaurid *Lusotitan atalaiensis* (Sobral Formation, Upper Jurassic). *Historical Biology*, 29, 789-817.
- Mocho, P., Royo-Torres, R., Escaso, F., Malafaia, E., de Miguel Chaves, C., Narváez, I., Pérez-García, A., Pimentel, N., Silva, B.C. & Ortega, F. (2017b). Upper Jurassic sauropod record in the Lusitanian Basin (Portugal): geographical and lithostratigraphical distribution. *Palaeontologia Electronica*, 20(2), 27A.
- Mocho, P., Royo-Torres R. & Ortega, F. (2019). A new macronarian (Dinosauria, Sauropoda) from the Upper Jurassic of the Lusitanian Basin, Portugal. *Journal of Vertebrate Paleontology* 39: e1578782.
- Royo-Torres, R., Cobos, A., Mocho, P. & Alcalá, L. (2020). Origin and evolution of turiasaur dinosaurs set by means of a new 'rosetta' specimen from Spain. *Zoological Journal of the Linnean Society*, zlaa091.

Sauropod fossil record from the upper Barremian Arcillas de Morella Formation (Maestrat Basin, Spain)

Registo fóssil de dinossáurios saurópodes proveniente da Formação Arcillas de Morella do Berramiano superior (Bacia do Maestrat, Espanha).

P. Mocho (1,2), P. Yagüe (2), F. Escaso (2), J. M. Gasulla (2), J.L. Sanz (2,3,4) and F. Ortega (2)

- (1) Instituto Dom Luíz, Faculdade de Ciência, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal. p.mochopaleo@gmail.com
(2) Grupo de Biología Evolutiva, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid, Spain
(3) Unidad de Paleontología, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, Spain.
(4) Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, Spain.

Sumário: O Cretácico Inferior da Península Ibérica é abundante em restos fósseis de dinossáurios e, nos últimos anos, o conhecimento existente sobre as faunas de saurópodes incrementou-se de forma significativa pela descoberta de novos exemplares, alguns deles correspondendo a esqueletos com elementos articulados e associados. Em particular, a Formação Arcillas de Morella, que aflora na região de Morella (Bacia do Maestrat) tem sido fonte de numerosas descobertas, com alguns dos exemplares mais completos do Cretácico Inferior europeu. Contudo, estes exemplares carecem de um estudo sistemático detalhado. Destacam-se as jazidas de El Canteret, Más de Eroles, Sant Antoni de la Vespa, Mas de Palau e Mas de Romeu. Atualmente, as faunas de saurópodes do Cretácico Inferior ibérico são compostas por membros dos clados Rebbachisauridae e Titanosauriformes, mas os numerosos exemplares encontrados na região de Morella, revelam uma maior diversidade para o clado Somphospondyli, incluindo a presença de novos táxones.

Palavras-chave: Dinossáurios, Península Ibérica, Sistemática filogenética, Titanosauriformes, Rebbachisauridae

Keywords: Dinosaurs, Iberian Peninsula, Phylogenetic systematics, Titanosauriformes, Rebbachisauridae

The Lower Cretaceous sedimentary rocks of the Iberian Peninsula are rich in dinosaur fossil remains. Although sauropods are a relatively common group of dinosaurs, the first partial skeletons from the Iberian Peninsula were not found until the end of the past century. The Iberian sauropod fauna during the Early Cretaceous is composed members of Rebbachisauridae and Titanosauriformes, and four sauropod taxa have been described: the brachiosaurid *Soriatitan golmayensis*; the somphospondylans *Tastavinsaurus sanzi* and *Europatitan eastwoodi*; and the rebbachisaurid *Demandasaurus darwini*.

The sedimentary deposits of Arcillas de Morella Formation (upper Barremian) are rich in vertebrate fossil sites, being notable for their dinosaurian record (e.g., Sanz et al., 1982; Ortega et al., 2006; Gasulla et al., 2015, 2022). Several sauropod specimens have been identified from this Formation, including some discoveries prior to 1980s and several specimens that have been found since then, some of which comprise partial skeletons. However, no detailed studies have been provided to evaluate in detail the sauropod diversity in this formation, and to establish the

phylogenetic relationships with the other forms already described for the Iberian Peninsula.

All authors agree with the presence of titanosauriforms in this formation, with some specimens said to have affinities with Brachiosauridae (Sanz et al., 1982; Yagüe et al., 2001) and others with Titanosauria (Santos-Cubedo et al., 2010). Mocho et al. (2017) provided a detailed study for several specimens collected in Arcillas de Morella Formation around Morella (Castellón, Spain), and belonging to the historical collection of the Museu Nacional de Ciencias Naturales in Madrid (Spain). In this work, a higher sauropod diversity on this formation was hypothesized, with three possible different titanosauriforms.

Here in, we will present an overview of some of the main sauropod occurrences collected in the upper Barremian Arcillas de Morella Formation, mainly located in the region of Morella, including the sauropod fossil assemblages of El Canteret, Mas de Eroles, Sant Antoni de la Vespa, Mas de Palau and Mas de Romeu. Some of these specimens correspond to partially articulated and associated specimens, and almost all fossil assemblages comprise one sauropod taxa, and possibly one

individual, except for Sant Antoni de la Vespa quarry, with a minimal number of four individuals, and possibly two taxa. In addition, numerous isolated or small sets of specimens have been found in region of Morella, especially in Mas de la Parreta-Mas de Sabaté quarry. The study of all this material will be key to better understand the evolutionary history of the Maestrat basin sauropods, and shed

light on the phylogeny of Early Cretaceous sauropods of the Iberian Peninsula, composed by a complex array of diplodocoid, brachiosaurid, early branching somphospondylans and possibly, titanosaurian forms.

Acknowledgements: This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds (PIDDAC) – UIDB/50019/2020-IDL, and through the CEEC Individual contract CEECIND/00726/2017 (PM). Arcillas Vega de Moll S.A company in the context of the Concesión Minera Vega de Moll. The Willi Hennig Society sponsors TNT cladistics software.

References

- Gasulla, J.M., Escaso, F., Narváez, I., Sanz, J.L. & Ortega, F. New *Iguanodon bernissartensis* Axial Bones (Dinosauria, Ornithopoda) from the Early Cretaceous of Morella, Spain. *Diversity*, 14, 63.
- Gasulla, J.M., Escaso, F., Malafaia, E., Mocho, P., Narváez, I., Pérez-García, A., Vidal, D., Sanz, J.L. & Ortega, F. (2021). Nuevos yacimientos de vertebrados de la Formación Arcillas de Morella (Cretácico Inferior, Barremiense) en la Concesión Minera Vega del Moll (Morella, Castellón). In: A. García-Forner, N. Conejero-Ortega, Y. Díaz-Acha, A. Baratas Díaz (eds.). *La huella humana en la naturaleza, Libro de Resúmenes, XXIV Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Valencia, Septiembre 2021, 218-219.
- Gasulla, J.M., Escaso, F., Narváez, I., Ortega, F. & Sanz, J.L. (2015). A new sail-backed styracosternan (Dinosauria: Ornithopoda) from the Early Cretaceous of Morella, Spain. *PLoS One*, 10, e0144167.
- Mocho, P., Escaso, F., Gasulla, J.M., Galobart, A., Poza, B., Santos-Cubedo, A., Sanz, J.L. & Ortega, F. (2022). New information about the sauropod dinosaurs of the Sant Antoni de la Vespa quarry (Morella, Spain), 116-116. In: Blanco, F., Blanco-Moreno, C., Buscalioni, A.D., de la Cita, L., Llandres, M., Martín-Abad, H., Marugán-Lobón, J., Monleón, M.A., Navalón, G., Nebreda, S.M., Prieto, I., San Román, C. (eds.), *Libro de Resúmenes de las XXXVII Jornadas SEP y V Congreso Ibérico de Paleontología*. Palaeontological publications, 2. ISBN 13: 978-84-09-44478-6.
- Ortega, F., Escaso, F., Gasulla, J.M., Dantas, P. & Sanz, J.L. (2006). Los Dinosaurios de la Península Ibérica. *Estudios Geológicos*, 62(1-2), 219-240.
- Santos-Cubedo, A., Poza, B., Suñer, M. & de Santisteban, C. (2010). New remains of a titanosaur (Dinosauria: Sauropoda) from the Early Cretaceous of Spain. *Journal of Vertebrate Paleontology*, suppl., 30, 157A.
- Sanz, J.L., Casanovas, M.L. & Santafé, J.V. (1982). Paleontología. In: J.V. Santafé, M.L. Casanovas, J.L. Sanz, S. Calzada (coord.), *Geología y Paleontología (Dinosaurios) de las Capas rojas de Morella (Castellón, España)*. Diputación Provincial de Castellón y Diputación de Barcelona. Spain, 71-169.
- Yagüe, P., Upchurch, P., Sanz, J.L. & Gasulla, J.M. (2001). New sauropod material from the Early Cretaceous of Spain. In: 49 Annual Symposium of Vertebrate Paleontology and Comparative Anatomy, Yorkshire Museum.

Rusophycus from the Middle Ordovician of Barrancos-Oliva de la Frontera (Portugal-Spain) and Eastern Alborz Mountains (Iran)

Rusophycus do Ordovícico Médio de Barrancos-Oliva de la Frontera (Portugal-Espanha) e do leste das Montanhas de Alborz (Irão)

C. Neto de Carvalho (1), S. Jensen (2), A. Bayet-Goll (3), A. Baucon (4), J. Anacleto (5) and T. Palácios (2)

- (1) Geology Office from the Municipality of Idanha-a-Nova. Naturtejo UNESCO Global Geopark, Centro Cultural Raiano, 6060-101 Idanha-a-Nova. RG2 – Earth Surface Processes, Instituto D. Luiz, University of Lisbon, 1749-016 Lisboa, Portugal. carlos.praedichnia@gmail.com.
- (2) Area de Paleontología, Universidad de Extremadura, 06006 Badajoz, Spain.
- (3) Institute for Advanced Studies in Basic Science, 45195-1159, Zanjan, Iran.
- (4) DISTAV, Università degli Studi di Genova, Corso Europa 26, 16132 Genova, Italy.
- (5) Museu Geológico – LNEG. Rua da Academia das Ciências 19, 2º, 1200-032 Lisboa, Portugal.

Sumário: *Rusophycus leifeirikssoni* é descrito nas formações Lashkerak, Irão (parte inferior da Unidade 2) e Colorada, na Zona de Ossa-Morena, atribuídas ao Ordovícico Médio e correspondendo a ambientes deposicionais similares. Na Formação Colorada descreve-se ainda uma nova icnoespécie de *Rusophycus*, interpretada como comportamento de busca de alimento e abundante na famosa Pedreira do Mestre André.

Palavras-chave: *Rusophycus leifeirikssoni*, *Rusophycus* isp. nov., *antepraia inferior*, *praia afora superior*, Ordovícico Médio, Gondwana

Key words: *Rusophycus leifeirikssoni*, *Rusophycus* nov. isp., lower shoreface, upper offshore, Middle Ordovician, Gondwana

Rusophycus Hall 1852 was one of the first fossils to be attributed to behaviors (feeding, resting, molting, hiding, hunting or nesting) of trilobites and other trilobitomorphs. Here we describe two interesting occurrences of this ichnogenus in Middle Ordovician high latitude, storm-influenced, wave-dominated shoreface and offshore transition facies from northern Gondwana, namely the Deh-Molla section in eastern Alborz Mountains (Iran) (Neto de Carvalho and Bayet-Goll, 2023), and in different sections from Barrancos-Oliva de la Frontera area, in the Ossa-Morena Zone at the border region of Portugal and Spain (Jensen et al., 2016).

The Ordovician Lashkerak Formation (Fm.) in the Alborz Mountains evolved from braided rivers and incised valleys system to transgressive incised-valley-fill successions which, in turn, became transgressed by a wave-dominated shoreface-offshore complex and a mixed fluvial- and wave-influenced delta (Bayet-Goll et al., 2022).

The Ordovician from the Barrancos-Enciñasola area, along the border region between Portugal and Spain, comprises a thick succession of shales, siltstones and sandstones/quartzites of the Barrancos Fm. and Colorada Fm., locally rich in trace fossils but poor in body fossils. While the Barrancos Fm. is well known for the *Nereites-Gordia-Dictyodora* and *Oldhamia* ichnoassociations (“*Phyllodocites* shales”; Jensen et al., 2016), the *Rusophycus leifeirikssoni* Bergström 1976 (cf. Fillion and Pickerill, 1990; Mángano and Buatois, 2004)

Colorada Fm. ichnology only recently started to be revealed (see Jensen et al., 2016). The transition between these formations is Darriwilian, based on graptolites and acritarchs (Piçarra et al., 2011; Jensen et al., 2016). This gradational transition can be observed in the Ardila river section and the Mestre André quarry (Municipality of Barrancos, Portugal), a famous ichnosite studied for more than a century (Jensen et al., 2016).



Fig. 1. *Rusophycus leifeirikssoni* from the Deh-Molla section, eastern Alborz mountains (silicone cast).

occurs in the Deh-Molla (Fig. 1) and Serra de la Corte (Fig. 2A) sections in storm-generated,

medium-to-coarse grained sandstones. They are deep burrows, with steep anterior part, sometimes with the cephalic shield impression, and wide and bilobed posterior side, showing thick scratches perpendicular to the median furrow. The lower part of the Colorado Fm. yields rare 2-4 cm wide, mostly straight, *Cruziana furcifera* and *C. cf. almadenensis* with faintly developed longitudinal scratch-marks meeting the central furrow at very acute V-angles, some with clear evidence of tunneling. The Colorado Fm. also yields a new ichnospecies of *Rusophycus* (Fig. 2B) close to the Mestre André quarry, where a 1,5 m sandstone-pelite succession located 5 m above the base of the Colorado Fm.

shows 128 specimens associated to *Cruziana* isp., *Skolithos linearis*, *Monocraterion* isp. and *Planolites* isp.. The yet unnamed ichnospecies of *Rusophycus* is characterized by a steeply inclined triangular anterior portion, probably the result of multiple phases of tail-down burrowing, also represented by multiple superimposed impressions evidencing readjustment. The randomly oriented, multiple-*Rusophycus* assemblages likely indicate the exploitation of resource-rich environments in detritus feeding aggregations.

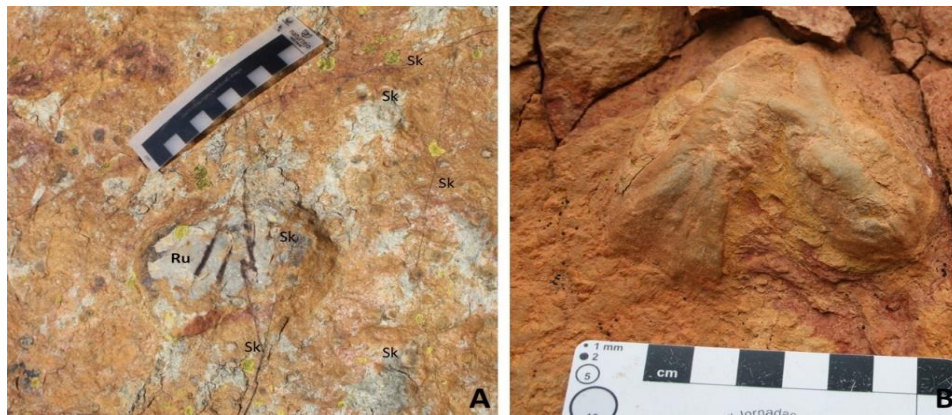


Fig. 2. A - *Rusophycus* cf. *leifeirikssoni* (Ru - sectioned) intersected by *Skolithos piperock* ichnofabric (Sk - some examples) indicating sand-flat deposition in the lower part of the Colorado Formation; Sierra de la Corte section. B - *Rusophycus* nov. isp.; Mestre André quarry. A and B are trace fossils left in the outcrop

Acknowledgments: Financial support to CNC was provided by Naturtejo, EIM, through the programme for international scientific partnerships under the UNESCO Naturtejo Global Geopark. IASB of Zanjan is greatly acknowledged for the financial and logistical support to the fieldwork and development of this paper.

References

- Bayet-Goll, A., Sharafi, M., Jazimagh, N. & Brandano, M. (2022). Understanding along-strike variability in controlling mechanisms of paleoenvironmental conditions and stratigraphic architecture: Ordovician successions in the Alborz Mountains of Iran at the northern Gondwana margin. *Marine and Petroleum Geology*, 140, 105654.
- Fillion, D. & Pickerill, R. (1990). Ichnology of the Upper Cambrian? to Lower Ordovician Bell Island and Wabana groups of eastern Newfoundland, Canada. *Palaeontographica Canadiana*, 7, 1-119.
- Jensen, S., Neto de Carvalho, C. & Palácios, T. (2016). Trace fossils from the Barrancos and Colorado formations, Ordovician, Ossa-Morena Zone, Portugal and Spain. *Comunicações Geológicas*, 103 (especial I), 159-167.
- Neto de Carvalho, C., Bayet-Goll, A. (2023). *Thalassinoides horizontalis* from the Middle-Upper Ordovician shallow marine siliciclastics of Iran (Lashkerak Formation). *Comptes Rendus Palevol* (accepted).
- Mángano, M.G. & Buatois, L.A. (2004). Reconstructing Early Phanerozoic intertidal ecosystems: ichnology of the Cambrian Campanario Formation in northwest Argentina. *Fossils and Strata*, 51, 17-38.
- Piçarra, J., Pereira, Z. & Gutiérrez-Marco, J.C. (2011). Ordovician graptolites and acritarchs from the Barrancos region (Ossa-Morena Zone, South Portugal). *Cuadernos del Museo Geominero*, 14, 429-439.

Casulos de vespas provenientes de paleossolos nos “Calcários da Senhora das Necessidades” (Oligocénico da Península de Setúbal)

Wasp cocoons from paleosols in the “Senhora das Necessidades Limestones” (Oligocene, Setúbal Peninsula)

C. Neto de Carvalho (1), J. Sequeira (2), J. Anacleto (2)

(1) Serviço de Geologia do Município de Idanha-a-Nova, Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, Centro Cultural Raiano, 6060-101 Idanha-a-Nova. RG2 – Earth Surface Processes, Instituto D. Luiz, Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa, Portugal. carlos.praedichnia@gmail.com.

(2) Museu Geológico – LNEG. R. Academia das Ciências, 19, 2º, 1200-032 Lisboa, Portugal.

Summary: In Portugal, the studies on the ichnology of paleosols are giving the very first steps. Here we describe the wasp cocoons *Fictovichnus sciuttoi* found in the Oligocene of Calcários da Senhora das Necessidades and derived from carbonate paleosols (Celliforma Ichnofacies). The description of these trace fossils is based on a small collection deposited at the Museu Geológico.

Key words: *Fictovichnus sciuttoi*, carbonate paleosols, Paleogene, Portugal

Palavras-chave: *Fictovichnus sciuttoi*, paleossolos carbonatados, Paleogénico, Portugal

O estudo icnológico de paleossolos está a dar os seus primeiros passos em Portugal, não obstante a diversidade de registos, sobretudo em formações mesocenoicas. Este estudo contribui para detalhar interpretações paleoambientais, para além de enriquecer a paleobiodiversidade, em geral pobre neste tipo de depósitos. O presente trabalho parte de uma pequena coleção de icnofósseis de invertebrados, do tipo *Pupichnia*, identificada nas coleções do Museu Geológico, com proveniência nos “Calcários da Senhora das Necessidades”.

A Formação de Benfica (Reis et al., 2001; Pais et al., 2012) é uma unidade sedimentar cenozoica muito característica na região de Lisboa e na Península de Setúbal. Os “Calcários da Senhora das Necessidades” (Antunes et al., 1999), correspondentes à parte superior da Formação de Benfica, são sobrepostos pelos primeiros níveis marinhos dos “Calcários de Palhavã” datados do Miocénico basal (Azerêdo & Carvalho, 1986). A idade da Formação de Benfica, tendo em conta os poucos fósseis de idade (carófitas) encontrados e apenas a Norte de Lisboa, permite uma possível atribuição ao Eocénico médio-Oligocénico, sendo os “Calcários da Senhora das Necessidades” de idade oligocénica (Azerêdo & Carvalho, 1986; Reis et al., 2001). No flanco norte da cadeia da Arrábida, a Formação de Benfica atinge uma espessura máxima de 200 m; é composta por duas macrosequências conglomeráticas de leques aluviais que culminam com os “Calcários da Senhora das Necessidades”, com uma espessura até 72 m e continuidade lateral (Azevêdo & Pimentel, 1995). Junto da Capela da

Senhora das Necessidades, estes calcários são micríticos, em geral brancos, às vezes pulverulentos e nodulares, com estratificação mal definida e raros níveis margosos e calco-margosos (Fig. 1). As rizoconcreções são frequentes. Zbyszewski et al. (1965) indicam ainda a presença de gastrópodes dulçaquícolas nas imediações da capela, no presente trabalho referidos com a taxonomia actualizada, incluindo *Stagnicola pachygaster*, *S. syrtica*, *Radix (Radix) socialis*, *Planorbarius mantelli*, *P. solidus*, *Wenzia ramondi* e “*Helix*” sp.; foram ainda identificados raros fragmentos de ostracodos e de oogónios de carófitas não determinados (Azerêdo & Carvalho, 1986).



Fig. 1. Sucessão típica de calcário micrítico intercalado em calcretos nodulares, da base da capela da Senhora das Necessidades (escala de 20 cm).

Os carbonatos da Senhora das Necessidades representam uma paragem na sedimentação detrítica em clima subárido associada a uma drenagem endorreica, com desenvolvimento de fácies palustres e lacustres de evolução diagenética posterior, marcada por uma importante exposição sub-aérea e pela pedogénese (Azerêdo & Carvalho, 1986; Pimentel et al., 1996). A rizoturbação é significativa em níveis específicos, apesar do pequeno diâmetro, e a presença de gastrópodes pulmonados terrestres e aquáticos, típicos de charcos temporários, é ocasional. Os icnofósseis mais interessantes encontrados nos “Calcários da Senhora das Necessidades” são formas elipsoidais, com menos de 4 cm de comprimento e pouco mais de 2 cm de diâmetro, que foram encontradas isoladas ou com um fragmento de rocha donde provêm numa das

extremidades. O seu preenchimento é semelhante à rocha matricial e caracterizam-se por ter paredes finas com uma ornamentação helicoidal, nem sempre muito fina (Fig. 2). Uma das extremidades pode mostrar-se truncada, tendo a extremidade oposta uma cicatriz arredondada resultante do ângulo de repouso da estrutura. Estas formas são muito semelhantes aos casulos de vespas descritos como *Fictovichnus sciuttoi* (Genise, 2017). A textura helicoidal terá resultado de uma estruturação do casulo com fios de seda tecidos pela vespa. A truncatura ou o orifício em uma das extremidades relaciona-se com a ruptura do casulo no início da fase adulta. Estes casulos, similares aos actualmente produzidos pelas famílias Crabronidae e Pompilidae (Genise, 2017), são característicos de solos palustres, com rara vegetação associada, tipificando a Icnofácies de *Celliforma*.



Fig. 2. Casulos de vespas do tipo *Fictovichnus sciuttoi* (Genise et al. 2007): A – O exemplar aparenta ter um padrão reticulado, por sobreposição de ornamentações helicoidais com orientações inversas; B – Exemplar com ornamentação helicoidal ténue (MG Coleção Estratigráfica: Arm. 54, Tab. 18).

Referências

- Antunes, M.T., Legoinha, J. & Pais, J. (1999). Cenozóico. In G. Manuppella (coord.) et al., Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000, Notícia Explicativa da Folha 38-B, Setúbal. Instituto Geológico e Mineiro, 59-77.
- Azerêdo, A.C. & Carvalho, A.M. (1986). Novos elementos sobre o “Paleogénico” carbonatado dos arredores de Lisboa. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, 72(1/2), 111-118.
- Azevêdo, T.M. & Pimentel, N.L. (1995). Novos dados para a discussão da génese da Bacia do Tejo-Sado no Paleogénico. Memórias da Faculdade de Ciências, Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, 4, 897-902.
- Genise, J.F. (2017). Ichnoentomology: Insect traces in soils and paleosols. Elsevier Topics in Geobiology, 37.
- Pais, J., Cunha, P.P., Pereira, D., Legoinha, P., Dias, R., Moura, D., Brum de Oliveira, A., Kullberg, J.C., González-Delgado, J.A. (2012). The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal). SpringerBriefs in Earth Sciences.
- Pimentel, N.L., Wright, V.P. & Azevêdo, T.M. (1996). Distinguishing early groundwater alteration effects from pedogenesis in ancient alluvial basins: Examples from the Palaeogene of southern Portugal. Sedimentary Geology, 105 (1/2), 1-10.
- Reis, R.P., Pais, J. & Antunes, M.T. (2001). Estratigrafia y arquitectura deposicional del “Complejo de Benfica” en la región de Lisboa, Portugal. Geogaceta, 29, 91-94.
- Zbyszewski, G., Veiga Ferreira, O., Manuppella, G. & Torre de Assunção, C. (1965). Notícia Explicativa da Folha 38-B, Setúbal, da Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Cenomanian-Turonian (Upper Cretaceous) Pectinida (Mollusca, Bivalvia) of Salmanha (Figueira da Foz, Portugal): a didactic resource to the teaching of Earth and Life History

Pectinida (Mollusca, Bivalvia) do Cenomaniano-Turoniano (Cretácico Superior) de Salmanha (Figueira da Foz, Portugal): um recurso didático para o Ensino da História da Terra e da Vida

S. Ozkaya de Juanas (1*,2), P.M. Callapez (1,2), F. Barroso-Barcenilla (1,2,3), M. Berrocal-Casero (2,3), P.G. Correia (1), H. Pereira (1,4), R. Pimentel (1), V.F. Santos (5) and M. Segura (2)

(1) Departamento de Ciências da Terra - (Centro de Investigação da Terra e do Espaço), Universidade de Coimbra, 3030-790 Coimbra, Portugal. *sjuanas@student.dt.uc.pt

(2) Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente (Grupo de Investigación Paleolítica), Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, España - Spain.

(3) Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología (Grupo de Investigación Procesos Bióticos Mesozoicos), Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, España - Spain.

(4) CIMA, Centre for Marine and Environmental Research, University of Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.

(5) Departamento de Geologia (Instituto D. Luís), Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa, Portugal.

Sumário: *os moluscos bivalves da Ordem Pectinida são um dos elementos mais representativos das faunas de invertebrados das fácies marinhas do Cenomaniano-Turoniano da Plataforma Carbonatada Ocidental Portuguesa. São especialmente comuns na região do Baixo Mondego, com destaque para a Salmanha, Figueira da Foz. Pela sua abundância, diversidade e preservação tafonómica das conchas, mas também pelas suas formas e dimensões apelativas, a par de características ecológicas que os tornam em excelentes fósseis de fácies, constituem um importante recurso utilizável na implementação de atividades educativas centradas no ensino da Paleontologia e da História da Terra e da Vida.*

Palavras-chave: *Cretácico, ensino da Paleontologia, Pectinida, recurso educativo, Salmanha (Portugal)*

Key words: Cretaceous, teaching of Palaeontology, Pectinida, educational resource, Salmanha (Portugal)

Bivalves of the Order Pectinida (sensu Carter et al., 2011) were a common taxonomic group from the Late Cretaceous benthic assemblages that colonised the shallow marine environments of the Tethyan and Temperate realms. Their calcite-rich shells are commonly found in a variety of carbonated and mixed carbonate-siliciclastic facies from lagoonal, tidal flat, and inner to mid shelf environments. Some of them also reveal a noteworthy degree of adaptation to high-energy settings with coral and rudist buildups, developing heavy and thick shells found in rimmed carbonate platform contexts. The chemical composition of their valves also proved to be quite resistant to diagenetic conditions, being preserved when the shells of other molluscs with aragonite skeletal parts are dissolved.

Besides their scientific importance, Cretaceous Pectinida stand out as a very appellative fossil group for educative purposes, including the teaching of Palaeontology, and the Earth and Life History. Firstly, their shells are common to find in fossiliferous strata, and have interesting morphologies with esthetical

shapes and sizes. Their taphonomic preservation is also an advantage, when compared with many other fossil groups, whose skeletal parts did not survived diagenesis and only their moulds subsist. At the same time, Pectinida Bivalves are excellent examples of facies fossils, allowing to infer ecological factors and marine palaeoenvironments.

Many European fossil species are known from the Upper Cretaceous record of Portugal, with emphasis on the Cenomanian-Turonian West Portuguese Carbonate Platform of Estremadura and Beira Litoral. They are especially common in the Upper Cenomanian carbonate and mixed facies of the Baixo Mondego ranges, between Coimbra and Figueira da Foz. At this later locality, these molluscs have been extensively recorded in the quarries of Salmanha (Figueira da Foz), where they integrate fossil assemblages with *Neolobites*, several *Vascoceras* species, and many other scleractinian corals, bivalves, gastropods, and echinoids. All together, they reveal Salmanha as a noteworthy set of outcrops exceptional for geotourism and out-of-school education, with palaeontological

materials of museological and heritage relevance (Ozkaya de Juanas et al., 2022).

The early references to the existence of Pectinida Bivalves in the Baixo Mondego ranges were made by Choffat (1886, 1900 - specimens housed in the Museu Geológico collection, in Lisbon). Both the stratigraphy and these faunas were reviewed by Soares (1966) and Callapez (1992, 1998), among other works. This study intends to present an updated checklist of the nine upper Cenomanian pectinid species that have been identified in the carbonate platform layers of Salmana. These species are particularly important in the framework of an international project of Iberian teaching cooperation which is currently in progress, which explores the palaeontological resources of selected Cretaceous sites from Portugal and Spain for educational purposes and knowledge sharing.

The systematic layout used for taxonomic categories above the genus rank is based in Bieler et al. (2010) and Carter et al. (2011). The specific classification also followed a large spectrum of available bibliography concerning the Cretaceous faunas of Europe and North Africa. The systematic checklist is as follows:

Class Bivalvia Linnaeus, 1758

Subclass Autobranchia Grobden, 1894

Infraclass Pteriomorpha Beurlen, 1944

Cohort Ostreomorphi Férussac, 1822

Subcohort Ostreioni Férussac, 1822

Megaorder Ostreata Férussac, 1822

Order Pectinida Gray, 1854

Suborder Pectinidina Gray, 1854

Superfamily Pectinoidea Rafinesque, 1815

Epifamily Pectinoidea Rafinesque, 1815

Family Pectinidae Rafinesque, 1815

Subfamily Camptonectinae Habe, 1977

Genus *Camptonectes* Agassiz in Meek, 1864

***Camptonectes (Camptonectes) virgatus* (Nilsson, 1827)**

Subfamily Pedinae Bronn, 1862

Genus *Chlamys* Röding, 1798

***Chlamys guerangeri* (Farge in Couffon, 1936)**

Family Neitheidae Sobetski, 1960

Genus *Neithea* Drouet, 1825

***Neithea (Neithea) aequicostata* (Lamarck, 1819)**

***Neithea (Neithea) dutruegi* (Coquand, 1862)**

***Neithea (?Neithea) fleuriausiana* (d'Orbigny, 1847)**

***Neithea (Neithea) hispanica* (d'Orbigny, 1850)**

***Neithea (Neithea) sexcostata* (Woodward, 1833)**

***Neithea (Neithella) notabilis* (Muenster in Goldfuss, 1833)**

Family Entoliidae Teppner, 1922

Subfamily Syncyclonematinae Waller, 1978

Genus *Syncyclonema* Meek, 1864

***Syncyclonema ?simplicia* (Conrad, 1857)**

Acknowledgements: Contracts UI/BD/150971/2021 of CITEUC and FCT (Portugal) and Margarita Salas of UCM CT31/21 (Spain), and the Research Project SBPLY/21/180501/000242 of the Junta de Castilla-La Mancha and the Universidad de Alcalá (Spain).

References

- Bieler, R., Carter, J.G. & Coan, E.V. (2010). Classification of Bivalve Families. In: P. Bouchet, & J.P. Rocroi, (eds.). *Nomenclator of Bivalve families*. Malacologia, 52, 113-133.
- Callapez, P.M. (1992). Estudo paleoecológico dos Calcários de Trouxemil (Cenomaniano-Turoniano) na região de entre a Mealhada e Condeixa-a-Nova. Unp. MsC Th., Universidade de Coimbra.
- Callapez, P.M. (1998). Estratigrafia e Paleobiologia do Cenomaniano-Turoniano. O significado do eixo da Nazaré-Leiria-Pombal. Unp. PhD Th., Universidade de Coimbra.
- Carter, J.G. et al. (2011). A synoptical classification of the Bivalvia (Mollusca). *Paleont. Contributions*, 4, 1-47.
- Choffat, P.L. (1886). Recueil d'études paléontologiques sur la Faune Crétacique du Portugal, I - Espèces nouvelles ou peu connues. Section des Travaux Géologiques du Portugal.
- Choffat, P.L. (1900). Recueil de monographies stratigraphiques sur le Système Crétacique du Portugal - Le Crétacé Supérieur au Nord du Tage. Direction des Services Géologiques du Portugal.
- Ozkaya de Juanas, S., Barroso-Barcenilla, F. & Callapez, P.M. (2022). Didactic and outreach possibilities of the Cretaceous palaeontological site of Figueira da Foz (Portugal). *Comunicações Geológicas*, 108, 125-130.
- Soares, A.F. (1966). Estudo das formações pós-jurássicas das regiões de entre Sargento-Mor e Montemor-o-Velho (margem direita do Rio Mondego). *Memórias e Notícias*, 62, 1-343.

The first record of termite coprolites (Blattodea: Isoptera) from the Lower Cretaceous of the Algarve Basin (Southern Portugal)

O primeiro registo de coprólitos de térmitas (Blattodea: Isoptera) do Cretácico Inferior da Bacia do Algarve (Sul de Portugal)

H. J. R. Pereira (1,2), P. M. Callapez (1,3) and P. Fernandes (2)

(1) CITEUC, Centre for Earth and Space Research of the University of Coimbra, Faculty of Sciences and Technology, Earth Sciences Department, University of Coimbra - Pólo II, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal. helder.pereira@student.dct.uc.pt

(2) CIMA, Centre for Marine and Environmental Research, University of Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.

(3) Grupo de Investigación Paleolbérica, Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, Spain.

Sumário: Neste trabalho apresentamos o primeiro registo de coprólitos atribuíveis a insetos xilófagos do Cretácico Inferior de Portugal. Os coprólitos estudados foram recolhidos em estratos margosos do Barremiano superior–Aptiano inferior, na secção dos Arrifes, em Albufeira. Apresentam geralmente uma forma subcilíndrica e uma secção transversal hexagonal, bastante características, pelo que foram atribuídos a térmitas (Isoptera). A descoberta destes icnofósseis em fácies marginais marinhas da Bacia do Algarve, contribui significativamente para o conhecimento da distribuição paleobiogeográfica deste grupo de insetos durante o Período Cretácico.

Palavras-chave: coprólitos de insetos, Cretácico Inferior, secção dos Arrifes, Bacia do Algarve, Portugal

Keywords: insect coprolites, Lower Cretaceous, Arrifes section, Algarve Basin, Portugal

Termites have played a significant role in nature as decomposer insects, consuming cellulose from plant material in many ecosystems (Lo & Eggleton, 2011) since Upper Jurassic–Lower Cretaceous (Legendre et al., 2015).

The Cretaceous fossil record of termites comprises amber inclusions, compression and impression fossils (e.g., Engel et al., 2007; Jarzembowski, 1981), and trace fossils (e.g., Francis & Harland, 2006).

Evidence for insect interaction, such as termite coprolites, is quite abundant in the fossil record; see Colin et al. (2011) and references therein.

Termite coprolites are recognised by their small size and characteristic subcylindrical shape, mostly with rounded ends (though sometimes one of the ends can be slightly pointed) and six flattened or roughly rounded surfaces with longitudinal ridges separated by a shallow groove.

These are pretty similar to faecal pellets of extant termites – which are slightly hexagonal due to the compression of the faecal matter in the rectum to squeeze out the remaining water before it is excreted (Child, 1934) – and have been reported worldwide from the Berriasian onwards (Colin et al., 2011).

Here we report the first record of termite coprolites from the Lower Cretaceous in Portugal.

These were collected from several marly strata in the Arrifes section (Albufeira, Algarve Basin), with a record attributed to the late Barremian–early Aptian interval (Mendes et al., 2023; Pérez-Cano et al., 2023).

Most coprolites studied herein present the distinctive hexagonal cross-section and are assigned to dry wood termites (Isoptera). They tend to occur isolated (Fig. 1A). However, sometimes, they can form small clumps (Fig. 1B).

These fossils are frequently assigned to the ichnospecies *Microcarpolithes hexagonalis* Vangerow, 1954. However, as Knaust (2020) noted, this ichnotaxon needs a revision.

The described and figured coprolites are abundant and occur associated with charophytes, numerous plant remains, and disarticulated continental and marine vertebrate remains, which suggests an important influx of continental sediments to the central Algarve Basin during the late Barremian–early Aptian.

Moreover, the discovery of these fossils in deposits from the Lower Cretaceous of the Algarve Basin

expands the known paleobiogeographic distribution of this group of xylophagous insects.

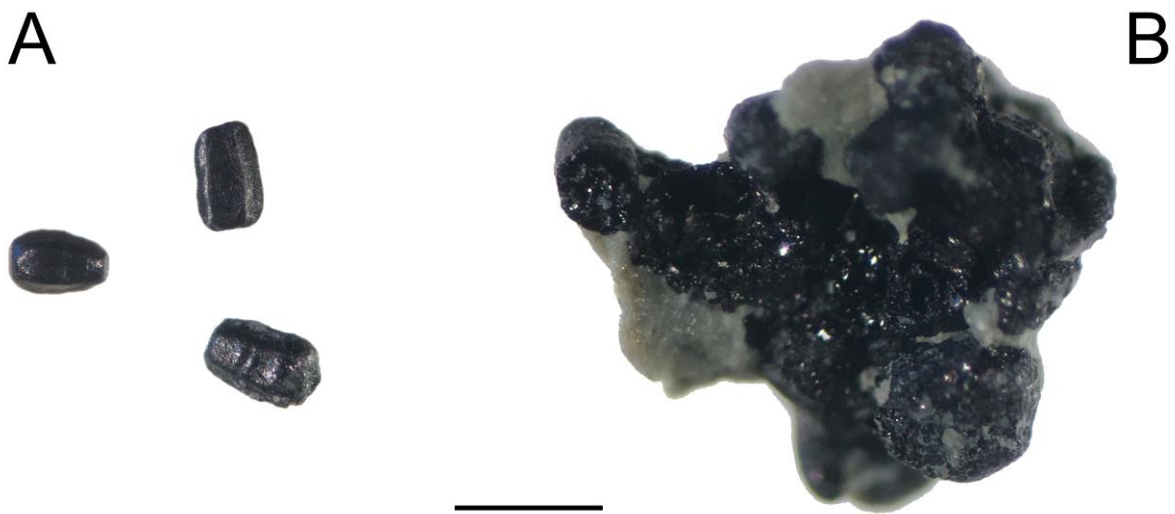


Fig. 1. Termite coprolites from the Arrifes section (Algarve Basin). A, isolated coprolites; B, clumped coprolites. Scale bar: A, 1 mm; B, 0,5 mm.

Acknowledgements: This study had the financial support of Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) under the projects UIDB/00611/2020 and UIDP/00611/2020 CITEUC and LA/P/0069/2020 granted to the Associate Laboratory ARNET and UID/00350/2020 CIMA.

References

- Child, H.J. (1934). The internal anatomy of termites and the histology of the digestive tract. *In*: C.A. Kofoid. (ed.). *Termites and termite control*. University of California Press, 53-83.
- Colin, J.-P., Néraudeau, D., Nel, A. & Perrichot, V. (2011). Termite coprolites (Insecta: Isoptera) from the Cretaceous of western France: A palaeoecological insight. *Revue de Micropaléontologie*, 54, 129-139.
- Engel, M.S., Grimaldi, D.A. & Krishna, K. (2007). Primitive termites from the Early Cretaceous of Asia (Isoptera). *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde Serie B (Geologie und Paläontologie)*, 371, 1-32.
- Francis, J.E. & Harland, B.M. (2006). Termite borings in Early Cretaceous fossil wood, Isle of Wight, UK. *Cretaceous Research*, 27, 773-777.
- Jarzembowski, E.A. (1981). An early Cretaceous termite from Southern England (Isoptera: Hodotermitidae). *Systematic Entomology*, 6, 91-96.
- Knaust, D. (2020). Invertebrate coprolites and cololites revised. *Papers in Palaeontology*, 6(3), 385-423.
- Legendre, F., Nel, A., Svenson, G.J., Robillard, T., Pellens, R. & Grandcolas, P. (2015). Phylogeny of Dictyoptera: Dating the Origin of Cockroaches, Praying Mantises and Termites with Molecular Data and Controlled Fossil Evidence. *PLoS ONE* 10(7), e0130127.
- Lo, N. & Eggleton, P. (2011). Termite phylogenetics and co-cladogenesis with symbionts. *In*: D.E. Bignell, Y. Roisin & N. Lo (eds.). *Biology of termites: A modern synthesis*. Springer, 27-50.
- Mendes, M., Descamps, G.S., Fernandes, P., Lopes, G., Jorge, R.C.G.S. & Pereira, Z. (2023). The upper Hauterivian–Barremian Lower Cretaceous Arrifes section (Algarve Basin, Southern Portugal): a palynostratigraphic and palaeoenvironmental approach. *Cretaceous Research*, 144, 105433.
- Pérez-Cano, J., Pereira, H.J.R., Mendes, M., Pereira, Z., Callapez, P.M. & Fernandes, P. (2023). Late Barremian–early Aptian charophyte biostratigraphy from Arrifes section (Algarve Basin, Southern Portugal): correlation with dinoflagellate cyst biostratigraphy. [Manuscript submitted for publication].

Preliminary report on the vertebrate fauna from the Lower Cretaceous of the Algarve Basin (Southern Portugal)

Relatório preliminar sobre a fauna de vertebrados do Cretácico Inferior da Bacia do Algarve (Sul de Portugal)

H. J. R. Pereira (1,2), P. M. Callapez (1,3), P. Fernandes (2) and S. C. Sweetman (4)

(1) CITEUC, Centre for Earth and Space Research of the University of Coimbra, Faculty of Sciences and Technology, Earth Sciences Department, University of Coimbra - Pólo II, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal. helder.pereira@student.dct.uc.pt

(2) CIMA, Centre for Marine and Environmental Research, University of Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.

(3) Grupo de Investigación Paleolbérica, Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, Spain.

(4) School of the Environment, Geography and Geosciences, Burnaby Building, Burnaby Road, University of Portsmouth, Portsmouth, PO1 3QL, UK.

Sumário: A amostragem de vários estratos carbonatados da secção dos Arrifes (Bacia do Algarve, Sul de Portugal) permitiu recolher uma associação de vertebrados fósseis inesperadamente rica e diversa. Os novos dados aqui apresentados têm implicações paleoambientais consideráveis e fornecem informações adicionais sobre o ambiente de deposição e paleoecologia da parte central da Bacia do Algarve durante o Cretácico Inferior.

Palavras-chave: Bacia do Algarve, Formação de Salema, Secção dos Arrifes, Cretácico Inferior, vertebrados, paleobiodiversidade

Keywords: Algarve Basin, Salema Formation, Arrifes section, Lower Cretaceous, vertebrates, palaeobiodiversity

The Cretaceous was a significant period so far as vertebrate evolution is concerned. Fossil associations of Cretaceous vertebrates are usually studied from the point of view of systematic palaeontology, taphonomy and palaeoecology, as they generally provide data essential for paleoenvironmental reconstructions.

Choffat (1887) reported the first stratigraphically contextualised occurrence of vertebrate fossils in the Algarve Basin (Southern Portugal). However, the Lower Cretaceous vertebrate fauna of this basin remains virtually unknown, as since then, only a few references to fish and indeterminate vertebrate remains (Rey and Ramalho, 1974; Manuppella et al., 2007) and dinosaur trackways and footprints (Santos, 2016; Santos et al., 2013, 2016) have been made.

Here we report an updated record of the vertebrate fauna from the Arrifes section (Albufeira, Algarve Basin), which is Barremian–early Aptian in age and in which the Salema Formation is exposed (Mendes et al., 2023; Pérez-Cano et al., 2023). The systematic trial and bulk sampling of the Arrifes section has revealed several horizons yielding vertebrate remains. These shed new light on the Lower Cretaceous vertebrate palaeobiodiversity of this Mesozoic basin.

A detailed study of the collected material is in progress, but results obtained to date have permitted the identification of an unexpectedly rich and diverse fossil vertebrate assemblage. This includes numerous remains of chondrichthyans, osteichthyans, lissamphibians, lepidosaurs, turtles, crocodyliiforms and dinosaurs (see Table I).

Isolated osteichthyan teeth are the most abundant remains in the vertebrate assemblage. Chondrichthyan remains are less common. Nevertheless, isolated teeth of two species of *Heterodontus* sharks and the ray *Pseudohypolophus mcnultyi* (Thurmond, 1971) are recorded for the first time in the Cretaceous of Portugal.

The new data presented here have considerable paleoenvironmental implications and provide additional insight into the environment of deposition and palaeoecology of the central part of the Algarve Basin during the Early Cretaceous.

The taphonomic and palaeoecological analysis of this assemblage, and its taxonomic comparison with coeval vertebrate faunas recorded from other carbonate platforms and basins from the same time interval will yield more data to document the geographical range of many species through the Tethyan and Temperate realms.

Table 1. List of vertebrate taxa from the Arrifes section (Algarve Basin, Southern Portugal).

Taxa	Referred material	Reference
Actinopteri		
Amiiformes	Isolated teeth	This study
Elopiiformes	Isolated teeth and tooth plate fragments	This study
Lepisosteiformes	Isolated teeth and ganoid scales	This study
Ionoscopiformes	Isolated teeth	This study
Pycnodontiformes	Isolated teeth and dentitions fragments	This study
Elasmobranchii		
Carcharhiniformes	Isolated teeth and dermal denticles	This study
Heterodontidae	Isolated teeth	This study
Rajiformes	Isolated teeth and dermal denticles	This study
Lissamphibia		
Albanerpetontidae	Postcranial elements	This study
Anura	Maxillary fragments and postcranial elements	This study
Lepidosauria		
?Anguimorpha	Isolated tooth and osteoderm fragments	This study
Testudinata		
Helochelydridae	Shell fragments and isolated tubercles	This study
Neosuchia		
Atoposauridae	Isolated teeth	This study
Bernissartiidae	Isolated teeth	This study
Ornithischia		
cf.Hypsilophodontidae	Isolated footprint	This study
cf.Hypsilophodontidae	Isolated tooth	This study
Iguanodontidae	Isolated teeth	This study
Saurischia		
Sauropoda	Trackways	Santos et. al. (2016)
Theropoda	Isolated footprints	Santos et. al. (2016)
Dromaeosauridae	Isolated tooth	This study

Acknowledgements: This study had the financial support of Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) under the projects UIDB/00611/2020 and UIDP/00611/2020 CITEUC and LA/P/0069/2020 granted to the Associate Laboratory ARNET and UID/00350/2020 CIMA.

References

- Choffat, P. (1887). Recherches sur les terrains secondaires au Sud du Sado. *Comunicações da Comissão dos Trabalhos Geológicos de Portugal*, 1(2), 222-312.
- Manuppella, G., Ramalho, M.M., Antunes, M.T. & Pais, J. (2007). Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da folha 53-A, Faro. INETI, 40 pp.
- Mendes, M., Descamps, G.S., Fernandes, P., Lopes, G., Jorge, R.C.G.S. & Pereira, Z. (2023). The upper Hauterivian–Barremian Lower Cretaceous Arrifes section (Algarve Basin, Southern Portugal): a palynostratigraphic and palaeoenvironmental approach. *Cretaceous Research*, 144, 105433.
- Pérez-Cano, J., Pereira, H.J.R., Mendes, M., Pereira, Z., Callapez, P.M. & Fernandes, P. (2023). Late Barremian–early Aptian charophyte biostratigraphy from Arrifes section (Algarve Basin, Southern Portugal): correlation with dinoflagellate cyst biostratigraphy. [Manuscript submitted for publication]
- Rey, J. & Ramalho, M. (1974). Le Crétacé inférieur de l'Algarve Occidental. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 57, 155-181.
- Santos V.F. (2016). Dinosaur tracks in the southwest Algarve basin. *Comunicações Geológicas*, 103 (Especial I), 117-120.
- Santos, V.F., Callapez, P.M. & Rodrigues, N.P.C. (2013). Dinosaur footprints from the Lower Cretaceous of the Algarve Basin (Portugal): New data on the ornithopod palaeoecology and palaeobiogeography of the Iberian Peninsula. *Cretaceous Research*, 40, 158-169.
- Santos, V.F., Agostinho, M., Barroso-Barcenilla, F., Callapez, P.M., Castanera, D., Fernandes, P., Oliveira, B.T. & Rodrigues, L.A. (2016). First evidence of sauropod tracks in the Lower Cretaceous of the Algarve Basin (Portugal). In: A. Baucon, C. Neto de Carvalho & J. Rodrigues (eds.). *Ichnia 2016: abstract book*. UNESCO Geopark Naturtejo/International Ichnological Association, Castelo Branco, 216-217.

New occurrence of late Kimmeridgian charophytes from the vertebrate beds of Valmitão (Lourinhã region, Lusitanian Basin, Portugal)

Nova ocorrência de carófitas do Kimmeridgiano superior nas camadas de vertebrados de Valmitão (Lourinhã, Bacia Lusitânica, Portugal)

R. Pereira (1*,2), O. Mateus (1,3), A. Guillaume (1,3) and M. Moreno-Azanza (1,4)

- (1) GeoBioTec, Dep. Ciências da Terra, FCT-UNL, Monte de Caparica, Portugal. *rns.pereira@campus.fct.unl.pt
- (2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz, Lisbon, Portugal
- (3) Museu da Lourinhã, Lourinhã, Portugal
- (4) Dept. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Spain

Sumário: O Jurássico Superior da Bacia Lusitânica apresenta diversas associações florísticas associadas à deposição de sequências continentais. O afloramento de Valmitão, localizado a oeste de Ribamar, parte da Formação Lourinhã, revelou presença abundante de *Porochara maxima* e *P. cf. pedunculata* (?) recolhidas de um nível de margas acinzentadas, onde dentes de crocodilomorfos tinham já sido descritos. Esta associação sugere a prevalência de ambientes de águas pouco profundas, próximas de uma linha de costa sujeita à incursão recorrente de águas marinhas, em ambiente oligohalino a pliohalino. A ocorrência de *P. maxima* é congruente com uma idade do Kimmeridgiano superior a Titoniano(?).

Palavras-chave: Carófitas, Kimmeridgiano, Valmitão, formação Lourinhã, Bacia Lusitânica, Portugal

Key words: Charophytes, Kimmeridgian, Valmitão, Lourinhã formation, Lusitanian Basin, Portugal

Charophytes are a group of continental macrophyte algae, known to exist since the Devonian. Despite being typically associated with freshwater environments, some forms can prosper in halophile conditions, and therefore used as an indicator of water quality. Fossil charophytes have been described extensively in multiple regions worldwide, often occurring in strata in which dinosaurs have been studied, namely in the Morrison Fm. (USA) or the Tendaguru Fm. (Tanzania).

The Praia de Valmitão outcrop, located west of Ribamar has yielded numerous occurrences of vertebrate remains, including dinosaurs and crocodiles (Antunes and Mateus, 2003; Guillaume et al., 2020). This exposure comprises around 25 m of sandstones and mudstones, upper part of the Porto Novo-Amoreira member of the Lourinhã Formation, assigned to the late Kimmeridgian. In the top part of the outcrop, a greyish silty marl level, named the “Valmitão Microfossil Assemblage”, has yielded a very rich and diverse microfossil accumulation from which only the crocodylomorphs have been studied in depth (Guillaume et al., 2020; Guillaume et al., this volume).

In this work, we unveil the occurrence of previously unreported charophytes, to discuss its implications for the understanding of palaeoflora associations of the Late Jurassic of the Lusitanian Basin, and for

constraining the paleoenvironmental conditions in which ancient crocodylomorphs endured.



Figure 1. Specimens of *Porochara maxima* (samples from Museu da Lourinhã). Each specimen is about 0.7-0.8 mm long.

The analysis of the residue of the samples reveals the presence of two distinct forms of charophyte oogonia. Samples yielded abundant oogonia of *Porochara maxima* (Donze, 1955) Donze, 1958; emend. Mojon, 1989, from which 50 specimens were measured for statistical analysis and species description (Fig. 1).

These forms are characterised by a large size oogonia with marked oval shape, asymmetric larger base, apical pore always and concave spiral cells (Tab.1). Additional charophyte content was identified in this outcrop, e.g., *Porochara cf. pedunculata* (?), although preservation conditions hamper further analysis.

Table 1. Dimensions of *Porochara maxima* oogonia, from the Valmitão microfossil assemblage. LPA – Length of Polar Axis, LED – Length of Equatorial Distance, NC – Number of Convolutions, ISI – Isopolarity Index, ANI – Anisopolarity Index, ECD – Equatorial Cell Diameter.

	<i>Min (µm)</i>	<i>Avg (µm)</i>	<i>Max (µm)</i>
LPA	673	778	895
LED	466	583	663
NC	9	10	12
ISI	116	134	148
ANI	48	52	56
ECD	58	82	113

In the Lusitanian Basin, *P. maxima* is described from the middle Oxfordian at Vermoil (south of Pombal) and the lower Berriasian at Olelas (NE of Sintra) (Pereira,

2002; Pereira et al., 2010), whereas in other regions in Europe (France, Switzerland, England, and Spain) it is assigned to the Purbeckian facies, of Tithonian-Berriasian age. Its occurrence in the upper beds of the Valmitão outcrop positions these charophyte species within the wider age range, for which a latest Kimmeridgian-Tithonian age is feasible. The presence of this species defines a new occurrence for this time interval and provides additional indications on the prevalence of this form in the late Jurassic of the Lusitanian Basin.

The presence of *P. maxima* in the vertebrate beds of Valmitão of the Lourinhã region, relates with coeval occurrences of *Porochara* described in other areas of the Lusitanian Basin. The identification of this monogenetic halophile association in these layers suggests that the overall palaeoenvironment was dominated by oligohaline to pliohaline salinity conditions. This fits with the overall interpretation of a shallow water environment, proximal to an ancient shoreline, prone to the recurrent influence of marine water.

Acknowledgements: This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds PTDC/CTA-PAL/2217/2021; (PIDDAC) UIDB/04035/2020-GeoBioTec and UIDB/50019/2020-IDL. We thank Micael Martinho and Carla Alexandra Tomás who assisted in the collection and preparation of the specimens.

References

- Antunes, M., & Mateus, O. (2003). Dinosaurs of Portugal. *Comptes Rendus Palevol*, 2(1), 77-95.
- Guilhaume, A., Moreno-Azanza, M., Puértolas-Pascual, E., & Mateus, O. (2020). Palaeobiodiversity of crocodylomorphs from the Lourinhã Formation based on the tooth record: insights into the palaeoecology of the Late Jurassic of Portugal. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 189, 549-583.
- Mojon, P.-O. (1989). Polymorphisme ecophenotypique et paleocologique des porocharacees (charophytes) du Cretace basal (Berrasiens) du Jura franco-suisse. *Revue de Paléobiologie*, 8, 505-524.
- Pereira, R. (2002). Carófitas do Jurássico Superior (Oxfordiano) e Cretácico Inferior ("Purbequiano") da Bacia Lusitânica. MSc Thesis, Universidade de Lisboa. Lisboa. 145 pp.
- Pereira, R., Azerêdo, A.C. & Feist, M. (2010). Revision of Late Tithonian charophytes from Lisbon and Sintra-Cascais: taxonomy, biostratigraphy and palaeobiogeographic significance. *Journal of Micropalaeontology*, 29, 37-49.

Primeiros dados paleontológicos do Carbónico de Águeda (Aveiro, Portugal)

First palaeontological data from the Carboniferous of Águeda (Aveiro, Portugal)

S. Pereira (1) e P. Correia (1)

(1) Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Uni. de Coimbra. ardi_eu@hotmail.com

Summary: We report the first paleontological data from the Carboniferous of Águeda, at the northern sector of the Buçaco Carboniferous Basin, central western Portugal. The fossil assemblages come from Bolfiar locality and occurs in two different units: a lower unit of vinous shale, with rare fossils, and an upper one, very fossiliferous, of grey clay shales. The association indicates a Stephanian C (latest Pennsylvanian) age and is almost exclusively composed of fossil plants, including representatives of Cordaitopsida (Cordaites leaves and *Cardiocarpus* and *Carpolithes* seeds), *Trigonocarpales* (*Neuropteris zeilleri* and *Callipteridium gigas*), *Marattiales* (*Pecopteris cyathea* and *P. cf. arborescens*) and *Equisetales* (*Annularia spinulosa* and *A. sphenophylloides*). Although rare, fossils of limnic bivalves (*Anthraconaia sp.*) were also collected and insect oviposition traces were identified on *Cordaites* leaves, being the first record of this type of ichnofossils in the Carboniferous of Portugal. The low diversity and abundance of *Cordaites* suggest a flora adapted to dry conditions.

Key words: Buçaco Carboniferous Basin; Stephanian C, oviposition, insect-plant interactions, *Cordaites*

Palavras-chave: Bacia Carbonífera do Buçaco, Estefaniano C, oviposição, interações inseto-planta, *Cordaites*

O Paleozoico da região de Águeda (Zona Centro-Ibérica), acaso ou não da sua posição pouco privilegiada como parautoctone da ZCI na zona de cisalhamento de Porto Tomar-Ferreira do Alentejo, permanece amplamente desconhecido. Após a recente descoberta dos primeiros fósseis do Ordovícico de Águeda (Pereira et al., 2021), a continuação do reconhecimento geológico deste concelho permitiu-nos agora recolher os primeiros dados paleontológicos do Carbónico da região, no limite setentrional da Bacia Carbonífera do Buçaco (BCB). Esta corresponde a um estreito sinclinal, orientado N-S, que se prolonga descontinuamente por cerca de 30km, desde Águeda (Aveiro) até Penacova (Coimbra).

Alberto Souto, um arqueólogo e político aveirense que efetuou várias campanhas de reconhecimento geológico no distrito de Aveiro, é o autor da única menção prévia à ocorrência de fósseis de vegetais no Carbónico desta cidade: “No afloramento de Águeda – foz do Alfusqueiro, onde com o Sr. Dr. Carrington fiz uma colheita de fósseis vegetais, acentua-se a xistosidade de algumas camadas. Foi mesmo só na camada xistosa, de grande dureza, que encontrámos alguns exemplares da flora típica” (Souto, 1936, p. 148). Porém, os dados que

obteve na região, publicados no Diário de Aveiro, passaram despercebidos entre a comunidade geológica, estando ausentes nas compilações do Paleozoico português e do Carbónico de Portugal (e.g. Teixeira, 1981; Wagner & Lemos de Sousa, 1983; Wagner et al., 1983). Consultámos o espólio pessoal do autor, depositado no Museu de Aveiro/Santa Joana, mas infelizmente não há qualquer registo dos espécimes então coletados. No início de 2022, iniciámos os trabalhos de prospeção, cujos resultados preliminares apresentamos.

Os novos dados provêm da localidade de Bolfiar, em distintos níveis estratigráficos que litologicamente parecem representar as formações Algeriz e Vale da Mó/Monsarros (estas indiferenciáveis), respetivamente: uma unidade inferior de xisto vinoso, com raros fósseis, e uma superior, muito fossilífera, de xistos argilosos cinzentos. Na unidade inferior, a associação é quase exclusivamente composta por fósseis de vegetais (Fig. 1), incluindo representantes de Cordaitopsida (folhas de *Cordaites* e sementes de *Cardiocarpus* e *Carpolithes*), *Trigonocarpales* (*Neuropteris zeilleri* e *Callipteridium gigas*), *Marattiales* (*Pecopteris cyathea* e *P. cf. arborescens*) e *Equisetales* (*Annularia spinulosa* e

A. sphenophylloides). De entres estes, as folhas de *Cordaites* dominam a associação, com vários níveis acumulados exclusivos destes fósseis. Embora raros, foram também recolhidos fósseis de bivalves límnicos (*Anthraconaia* sp.) e identificadas marcas de oviposição de insetos em folhas de *Cordaites*, que constituem o primeiro registo deste tipo de interações inseto-planta no Paleozoico português. Este tipo de estruturas é conhecido no registo geológico desde o Carbónico, período no qual se conhecem poucos registos, sendo no sistema Pérmico que se conhece o maior número de registos de oviposição endofítica (Romero-Lebrón et al., 2022). Esta descoberta surge pouco depois do primeiro registo de um roacoide na BCB (Correia et al., 2022), em níveis correlacionáveis,

em Anadia, a cerca de 20km a sul do afloramento agora estudado. Os roacoides, grupo extinto de baratas parasitoides, eram dictópteros primitivos oviposidores, sendo um dos possíveis candidatos para os icnofósseis agora registados.

Do ponto de vista biostratigráfico, a associação fossilífera estudada está composta inteiramente por espécies conhecidas na BCB (Wagner et al., 1983), indicando uma idade Estefaniano C, Pennsylvânico Superior. A baixa diversidade e a abundância de *Cordaites* sugerem uma flora adaptada a clima seco, estando alguns mesófitos e higrófitos, tais como pteridófitas e equisetaleanos, reduzidos a pequenos e dispersos refúgios, possivelmente associados a ambientes fluviais.

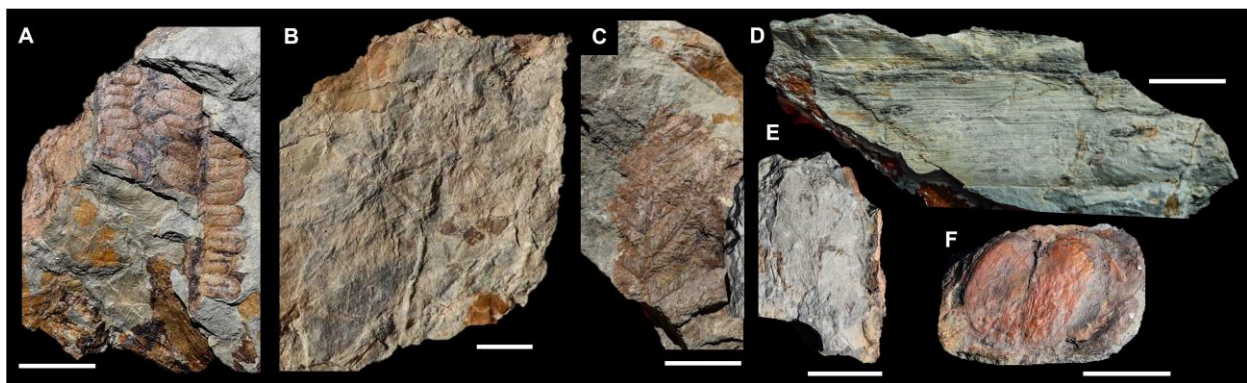


Fig. 1. Fósseis de plantas do Estefaniano C (Pennsylvânico Superior, Carbónico) de Bolfiar (Águeda, Aveiro). A, *Pecopteris* sp. (cf. *Pecopteris monyi*); B, *Annularia spinulosa*; C, *Pecopteris* sp. (cf. *Pecopteris gruneri*); D - Folha de *Cordaites* com marcas (cicatrizes) de oviposição; E - *Neuropteris zeilleri*; F, *Cardiocarpus* sp. Escala = 2cm.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia através dos projetos UID/Multi00073/2019, UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020 da unidade de I&D Centro de Geociências (CGEO). Agradecemos ao Museu de Aveiro/Santa Joana, na pessoa de Madalena Cardoso da Costa, pelo acesso ao espólio pessoal de Alberto Souto, e a Eugenia Romeo-Lebrón (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina) pela ajuda com os icnofósseis de oviposição e a Carmen Álvarez-Vázquez pelas clarificações cronostatigráficas.

Referências

- Correia, P., Pereira, S., Cavaleiro, M., Correia, M., Sá, A.A. & Nel, A. (2022). The first poroblattinid roachoid from the uppermost Carboniferous of Portugal. *Historical Biology*, 35, 2, 242-248.
- Pereira, S., Colmenar, J., Pires, M., Young, T., Gomes, A., Polechová, M. & Vaz, N. (2021). Os primeiros fósseis do Ordovícico de Águeda (Aveiro): Implicações lito e bioestratigráficas. *Comunicações Geológicas*, 108, 135-140.
- Romero-Lebrón, E., Robledo, J. M., Delclòs, X., Petrulevičius, J. F., & Gleiser, R. M. (2022). Endophytic insect oviposition traces in deep time. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 590, 110855.
- Souto, A. (1936). Geologia do distrito de Aveiro III. *Arquivo do distrito de Aveiro*, 2(5), 136-149.
- Teixeira, C. 1981. Geologia de Portugal. Vol. I – Precâmbrico, Paleozóico. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Wagner, R.H., Lemos de Sousa, M. J. (1983). The Carboniferous Megafloras of Portugal - A revision of identifications and discussion of stratigraphic ages. In: M.J. Lemos de Sousa & J.T. Oliveira (eds.). *The Carboniferous of Portugal*. Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal, 29, 127-152.
- Wagner, R.H., Lemos de Sousa, M.J., Gomes da Silva, F. (1983). Stratigraphy and fossil flora of the upper Stephanian C of Buçaco, North of Coimbra (Portugal). In: Lemos de Sousa, M.J. (eds.). *Contributions to the Carboniferous Geology and Palaeontology of the Iberian Peninsula*. Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Mineralogia e Geologia, 127-170.

Primeiro registo de trilobites no Silúrico de Portugal

First record of trilobites from the Silurian of Portugal

S. Pereira (1), G. Silvério (2), J. Colmenar (3) e N. Moreira (4)

(1) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra. ardi_eu@hotmail.com

(2) Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra (ICT), Pólo de Évora

(3) Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC), Espanha.

(4) Instituto de Investigação e Formação Avançada da Universidade de Évora, ICT, Polo de Évora.

Summary: *We report the first occurrence of trilobites in the Silurian of Portugal, from a Ludlow-Pridoli sequence of shale and limestone intercalations of the Campanhó Formation, located in Mós, Moncorvo syncline. Rare and fragmentary material allowed the identification of the encrinurid *Cromus* sp. and a phacopid resembling *Denckmannites*. The fossil assemblage supports the proposed paleogeographical model for this sector of the Central Iberian Zone together with NW Spain, Pyrenees and Catalonia, similar to those of the Ossa Morena Zone, North Africa and Bohemia.*

Key words: *Campanhó Formation, Scyphocrinites Limestone, Ludlow, Pridoli, Encrinuridae*

Palavras-chave: *Formação Campanhó, Calcários de *Scyphocrinites*, Ludlow, Pridoli, Encrinuridae*

A abundância de fósseis de trilobites em Portugal é conhecida há mais de 150 anos, com o grupo a alcançar maior notoriedade e diversidade nas sequências do Ordovícico. Com registos raros no Câmbrico e no Carbónico, o grupo tem também uma representação significativa no Devónico nacional, com registos na Zona Centro Ibérica (ZCI), na Zona de Ossa-Morena (ZOM), bem como no Terreno Sul Português (Pereira, 2022). Porém, até ao momento, permanecia por comprovar a presença do grupo no Silúrico português. Os raros registos eram todos hipotéticos, possivelmente correspondentes a outros artrópodes, nomeadamente na Formação (Fm) Foz da Sertã (=Fm Aboboreira) no Sinclinal de Amêndoa-Carvoeiro e no Sinclinal de Vila Velha de Ródão.

Para a raridade de trilobites no Silúrico português contribui, grandemente, o tipo de fácies que caracteriza as sequências deste sistema no Maciço Ibérico. Durante grande parte do Silúrico, a sedimentação quer na ZCI, quer na ZOM, teve características euxínicas. As sequências sedimentares do Llandovery, Wenlock e parte do Ludlow estão fortemente dominadas por xistos grafitosos, onde, para além de abundantes graptólitos, ocorrem apenas raros braquiópodes, bivalves, cefalópodes e crustáceos. No superior, predominou sedimentação clástica em condições de pouca profundidade. Uma exceção é o Silúrico do Domínio do Douro Inferior, onde a presença de fácies equivalentes à tríade Turíngica nos setores de Moncorvo (Piçarra et al., 1995; Sarmiento et al., 1999; Sá et al., 2003),

Meirinhos-Lagoaça (Piçarra & Rebelo, 1997) e Guadramil (Meireles, 1997) revelaram uma zona paleogeográfica particular para este setor da ZCI, comparável à ZOM e Zona Oeste Astúrico-Leonesa.

É deste contexto que documentamos a primeira ocorrência confirmada de trilobites do Silúrico em Portugal. Os fósseis estudados provêm de um dos sinclinais de 2ª ordem do Sinclinal de Moncorvo, a cerca de 500 m a SO de Fraga-do-Laranjo (Freguesia de Mós, Torre de Moncorvo). Litoestratigraficamente ocorrem numa sucessão de xistos cinzentos e esverdeados intercalados com níveis de calcários lenticulares que corresponde à parte superior da Fm Campanhó. Estudos biostratigráficos dos carbonatos desta unidade (Sarmiento et al., 1999) reconheceram idades compreendidas entre o Ludlow e o Pridoli. Até ao momento, foram encontrados apenas dois espécimes de trilobites (pigídios isolados), numa associação que está amplamente dominada por equinodermes scyphocrinitídeos. Foram também registados raros bivalves (*Panenka* sp.) que constituem o primeiro registo do grupo no Ludlow-Pridoli da região.

A nível da sistemática de trilobites, foi possível identificar o Cheiruridae *Cromus* sp. (Fig. 1A) e um phacopídeo que se assemelha a *Denckmannites* (Fig. 1B). O elevado número de anéis raquidiais (> 20) e de costilhas pleurais (13 a 14, aparentemente tuberculadas) de *Cromus* sp., recorda *C. intercostatus* (Barrande) da Fm Kopanina do Ludlow da República Checa e diferencia-o dos raros registos do género na

Península Ibérica, que foram aproximados a outras espécies (Rábano et al., 1993; Romero et al., 2022).

Pelas características litológicas e pelos traços tafonómicos dos fósseis de scyphocrinitídeos, com frequentes áreas de ramificações de braços e fragmentos do cálice (Fig. 1C), os níveis estudados deverão equivaler lateralmente aos documentados 3 km a ONO, por Sá et al. (2003). Corroboramos a hipótese dos autores, no que diz respeito à correlação lateral destes xistos fossilíferos com os “calcários de scyphocrinoides”, observando-se à escala do afloramento a passagem lateral das camadas xistentas a níveis calcificados e a calcários. Porém, não é possível ainda precisar a datação destes, mais além do intervalo Ludlow-Pridoli, encontrando-se em processamento os calcários amostrados para estudo de conodontes, associados aos xistos fossilíferos estudados.

Os novos dados vêm comprovar, finalmente, a existência de trilobites no Silúrico português e permitem completar a componente bentónica de uma associação fossilífera, na qual se conheciam anteriormente cefalópodes, equinodermes pelágicos, ostracodos e conodontes. Estreita-se a relação deste

setor da ZCI com as faunas bentónicas silúricas com afinidades boémicas já reconhecidas no NO de Espanha, nos Pirinéus e na ZOM, que estariam enquadrados num domínio paleogeográfico distinto da restante ZCI, com influência pelágica dominante (e.g. Rábano et al., 1993; Sarmiento et al., 1999).

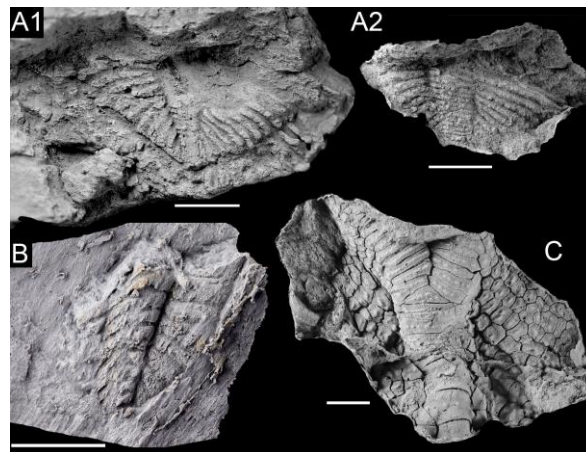


Fig. 1. Fósseis da Fm Campanhó, Ludlow-Pridoli de Mós. A, *Cromus* sp., molde interno (A1) e molde em látex (A2); B, *Denckmannites?* sp., molde em látex; C, *Scyphocrinitidae* indet. Escala = 5mm.

Agradecimentos: Este trabalho é financiado pela FCT, no âmbito do ICT (UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020) e do CGEO (UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020), e pelo Ministerio de Ciencia e Innovación (Espanha), no âmbito do Projeto PID2021-125585NB-I00. Representa uma contribuição para o projeto IGCP-652 (UNESCO). G. Silvério é financiado pela FCT (2020.08450.BD).

Referências

- Meireles, C. (1997). Descoberta de schyphocrinóides em xistos carbonosos de Guadramil (NE Transmontano). Comunicações da XIV Reunião de Geologia do Oeste Peninsular, UTAD, 189-191.
- Pereira, S. (2022). 170 anos de investigação intermitente das trilobites em Portugal. In: Blanco et al. (eds.). *Libro de Resúmenes de las XXXVII Jornadas SEP y V Congreso Ibérico de Paleontología*. Palaeontological publications, 2, 21-22.
- Piçarra, J.M. & Rebelo, J.A. (1997). Novos dados bioestratigráficos para o conhecimento do Silúrico da região de Meirinhos-Lagoaça (Domínio do Douro Inferior, Nordeste de Portugal). Comunicações da XIV Reunião de Geologia do Oeste Peninsular, UTAD, Vila Real, 189-191.
- Piçarra, J.M., Rebelo, J.A., Sarmiento, G.N., Robardet, M., Gutiérrez-Marco, J.C. & Rábano, I. (1995). Descoberta de conodontes e escifocrinóides em calcários silúricos do sinclinal de Moncorvo e sua importância bioestratigráfica e paleogeográfica. Resumos alargados do IV Congresso Nacional de Geologia, Memórias do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 4, 117-120.
- Rábano, I., Gutiérrez-Marco, J.C. & Robardet, M. (1993). Upper Silurian trilobites of Bohemian affinities from the West Asturien-Leonese Zone (NW Spain). *Geobios*, 26(3), 361-376.
- Romero, S., Rábano, R. & Pereira, S. (2022). Trilobites del Pridoli (Silúrico superior) de la Zona de Ossa Morena (España). In: Blanco et al. (Eds.), *Libro de Resúmenes de las XXXVII Jornadas SEP y V Congreso Ibérico de Paleontología*. Palaeontological publications, 2, 168.
- Sá, A.A., Coke, C., Piçarra, J.M. & Gutiérrez-Marco, J.C. (2003). Nova localidade com escifocrinóides no Silúrico do sinclínório de Moncorvo, Zona Centro Ibérica, Portugal. VI Congr. Nacional de Geologia, FCT-UNL, A146-A149.
- Sarmiento, G.N., Piçarra, J.M., Rebelo, J.A., Robardet, M., Gutiérrez-Marco, J.C., Štorch, P. & Rábano, I. (1999). Le Silurien du synclinorium de Moncorvo (NE du Portugal): biostratigraphie et importance paléogéographique. *Geobios*, 32(5), 749-767.

Biostratigraphic and structural research of the Guedelhinha-Lançadoiras-Algaré sector of the Neves-Corvo mine region, Iberian Pyrite Belt

Investigação biostratigráfica e estrutural do sector Guedelhinha-Lançadoiras-Algaré da mina de Neves-Corvo, Faixa Piritosa Ibérica

Z. Pereira (1), J. X. Matos (2), M. Mendes (1), R. Solá (3), I. Morais (2), L. Albardeiro (2), V. Araújo (4), N. Pacheco (4) and J. T. Oliveira (3)

- (1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Rua da Amieira, Apartado 1089, 4466-901, S. Mamede de Infesta, Portugal. zelia.pereira@lneg.pt
- (2) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Bairro da Val d'Oca, Ap. 14, 7601-909 Aljustrel, Portugal.
- (3) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Estrada da Portela, Zambujal, Ap. 7586, 2611-901 Amadora, Portugal.
- (4) Sociedade Mineira de Neves-Corvo, SA (Somincor), Stª Bárbara de Padrões, 7780-409 Castro Verde, Portugal.

Sumário: A presente investigação mostra os principais eventos palinoestratigráficos identificados na seção geológica de Guedelhinha-Lançadoiras-Algaré, localizada na região da mina de Neves-Corvo, Faixa Piritosa Ibérica. A idade estabelecida permitiu detalhar a sequência litoestratigráfica e compreender a grande complexidade estrutural, representando um importante contributo para o conhecimento geológico deste sector. A sequência de eventos reconhecida possibilitou a reconstrução da sedimentação e dos paleoambientes durante o Devónico e Carbónico, confirmando a existência de vários hiatus identificados na região da mina de Neves-Corvo. Salienta-se a importância dos sedimentos de idade Estruniano superior na Faixa Piritosa Ibérica (Biozona de Miosporos LN; Formação de Neves), confirmando a contemporaneidade entre o vulcanismo félsico, hidrotermalismo e precipitação de sulfuretos metálicos e a sedimentação anóxica de xistos negros.

Palavras-chave: Devónico, Carbónico, palinoestratigrafia, Neves Corvo, Faixa Piritosa Ibérica

Key words: Devonian, Carboniferous, palynostratigraphy, Neves-Corvo VMS deposit, Iberian Pyrite Belt

The Neves-Corvo mine lithostratigraphic sequence is one of the best studied in the Iberian Pyrite Belt (IPB)/South Portuguese Zone, based on major exploration programs developed by Somincor/Lundin Mining, complemented by research on palynostratigraphy, geochronology and geophysical surveys, that involved hundreds of studied drill holes (Mendes et al., 2020; Pereira et al., 2021). The use of high-resolution stratigraphy, based on palynology, is a fundamental proxy for near-mine exploration purposes in the IPB, in the Neves-Corvo mine area, where it proved to be a key tool to determine with precision the relative ages of the lithostratigraphic sedimentary units and to define the age of the black shales hosting the mineralization of late Strunian age (LN Miospore Biozone; Pereira et al., 2021). Palynological data are confirmed in several sectors by felsic rock ages defined by zircon U/Pb geochronology. Encouraged by these results and under the scope of the recent research projects IPBVECTORS and EXPLORA, more sections and drill holes were studied and new palynostratigraphic data acquired. Accordingly, the present study highlights detailed

palynological data collected in eight drill holes located at the Guedelhinha-Lançadoiras-Algaré deep (up to 2 km) section (Fig 1). The section geological and structural model presented is based on drill hole relog, fine palynostratigraphy, U/Pb geochronology data, section correlation with Somincor/Lundin Mining drill hole database, and surface geological mapping (Almodóvar-46C 1/50,000 scale Geological Map, Oliveira et al., 2016; Matos et al., 2020). The Mértola Fm., the Volcano-Sedimentary Complex (VSC) and the Phyllite-Quartzite Group (PQG) are present in the section and the main conclusions can be considered:

1. The Guedelhinha-Lançadoiras-Algaré sector shows a stratigraphic sequence whose biostratigraphic ages range from Middle Devonian (Givetian) to Early Carboniferous (late Viséan). The complex structure is defined by block stacking limited by important thrust faults, some with kilometric extension;
2. The allochthonous PQG sediments, at Cerro do Algaré mine, were dated from the late Strunian (LN Miospore Biozone) age. Older PQG sediments are also present (Frasnian to Givetian age);

3. The late Strunian age (Miospore Biozone LN) is confirmed to be a key interval of sulphide mineralization deposition across the IPB, in close association to black shales and coeval felsic volcanic rocks (359.6 ± 1.6 Ma);
4. The upper part of VSC Neves Fm. is characterized by an abundant/dominant prasinophycean *Maranhites* spp. assemblage, which could be related to the major extinction event and environmental changes documented at the Devonian-Carboniferous boundary;
5. Stratigraphic hiatus in the palynological record were highlighted and confirmed, namely:

- i) from the middle Frasnian to the middle Famennian (ca. 10 Ma), separating the lower PQG sediments (Mid-Late Devonian) from the upper PQG sediments (Late Devonian);
- ii) from the early to the middle Strunian (ca. 1 Ma), separating the VSC Corvo Fm. and Neves Fm.;
- iii) in the early-mid Tournaisian age (ca. 9 Ma), between the Lower and Upper VSC sequences and may reflecting submarine erosion across the basin or/and tectonic inversion events. At least the Strunian and Tournaisian sedimentary (or palynologic) hiatus are related with intense volcanic activity, confirmed by zircon ages of the volcanism.

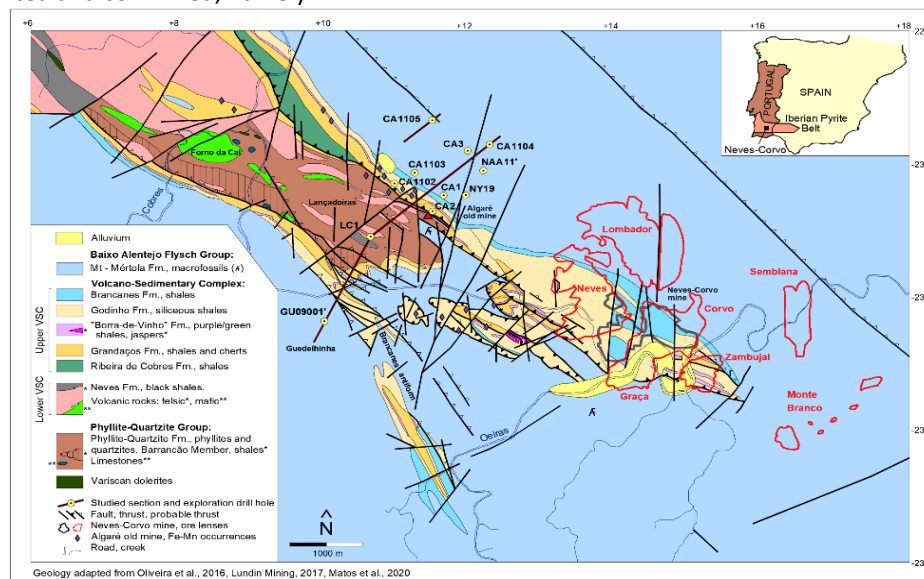


Fig. 1. Geological map of the Neves-Corvo mine region with massive sulphide deposit location (surface projection). The Graça and Corvo formations are only recognized in drill holes. Geology from Oliveira et al. (2016) and Matos et al. (2020).

Acknowledgements: The research was sponsored by AGC-Lundin Mining/LNEG IPBVECTORS project (Geologic, stratigraphic and litho-geochemical characterization of the Algaré structure, Rosário Antiform and the Semblana massive sulphide mineralization) and by the EXPLORA/ALENTEJO2020 project (Definition of new geological, geophysical, and geochemical knowledge vectors applied to Neves-Corvo northern region), Op ALT20-03- 0145-FEDER-000025, funded by Alentejo 2020, Portugal 2020 and European Union (ERDF).

References

- Matos, J.X., Albardeiro, L., Morais, I., Mendes, M., Pereira, Z., Solá, R., Batista, M.J., Salgueiro, R., Marques, F., Carvalho, J., Inverno, C., Oliveira, D., Oliveira, J.T., Gonçalves, P., Santos, S., Pacheco, N., Araújo, V., Mirão, J. & Rosado, L. (2020). Carta Geológica e Mineira, Região de Neves-Corvo, à escala 1:50 000. Projecto EXPLORA/Alentejo2020/FEDER, LNEG-Somincor/Lundin Mining-Lab. Hércules/Univ. Évora. ISBN: 978-989-675-097-8.
- Mendes, M., Pereira, Z., Matos, J.X., Albardeiro, L., Morais, I., Solá, R., Salgueiro, R., Pacheco, N., Araújo, V., Inverno, C. & Oliveira, J.T. (2020). New insights on the middle Givetian/middle Frasnian palynofloras from the Phyllite-Quartzite Formation in the Neves-Corvo mine region (Iberian Pyrite Belt, Portugal). *Revue de Micropaléontologie*, 68, 100447. <http://doi.org/10.1016/j.revmic.2020.100447>.
- Oliveira, J.T., Romão, J., Matos, J.X., Leal, J. & Rosa, C. (2016). Folha 46-C (Almodôvar) da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000. Unidade de Geologia, Hidrogeologia e Geologia Costeira. LNEG, Lisboa.
- Pereira, Z., Matos, J.X., Solá, A.R., Batista, M.J., Salgueiro, R., Rosa, C., Albardeiro, L., Mendes, M., Morais, I., de Oliveira, D., Pacheco, N., Araújo, V., Castelo Branco, J.M., Neto, R., Lains Amaral, J., Inverno, C. & Oliveira, J.T. (2021). Geology of the recently discovered massive and stockwork sulphide mineralization at Semblana., Rosa Magra and Monte Branco, Neves-Corvo mine region, Iberian Pyrite Belt, Portugal. *Geological Magazine*, 158(7), 1253-1258. <https://doi.org/10.1017/S0016756820001284>

The first occurrence of *Echinochara lazarii* (Charophyta) in Portugal and its biogeographic significance

Primeira ocorrência de *Echinochara lazarii* (Charophyta) em Portugal e sua importância biogeográfica

J. Pérez-Cano (1,2), H. J. R. Pereira (3,4) and P. Fernandes (4)

(1) Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont, Universitat Autònoma de Barcelona, ICTA-ICP building, c/de les Columnes s/n, Campus de la UAB, Cerdanyola del Vallès E-08193, Catalonia, Spain.

(2) Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona-UB, 08028 Barcelona, Catalonia, Spain. jordi_perez-cano@ub.edu

(3) CITEUC, Centre for Earth and Space Research of the University of Coimbra, Faculty of Sciences and Technology, Earth Sciences Department, University of Coimbra - Pólo II, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal.

(4) CIMA, Centre for Marine and Environmental Research, University of Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.

Sumário: *Clavatoraceae* é uma família extinta de carófitas usada para estudos biostratigráficos, biogeográficos e paleoecológicos de ambientes não marinhos no final do Jurássico–Cretácico Superior. Vários táxones de clavatoráceas foram descritos na Bacia Lusitânica e na Bacia do Algarve, incluindo espécies endêmicas de Portugal. O presente trabalho resultou do estudo das carófitas da secção dos Arrifes (Albufeira, Bacia do Algarve). A associação de carófitas estudada contém 10 espécies. Uma das espécies descritas é *Echinochara lazarii*, encontrada na parte superior da biozona de *Clavator grovesii* var. *juquanensis* do Barremiano superior–Aptiano inferior. Esta espécie está bem distribuída na Europa Ocidental e Norte de África, mas esta é a primeira ocorrência de *E. lazarii* em Portugal, sendo também a primeira descrição do género *Echinochara* neste país. Estes novos dados ajudam a compreender os padrões da distribuição geográfica de *E. lazarii* no Cretácico Inferior e indiciam as bacias portuguesas como áreas de grande interesse para a pesquisa de carófitas.

Palavras-chave: carófitas, *Clavatoraceae*, *Tethys*, Cretácico Inferior, Barremiano–Aptiano inferior

Keywords: charophyte, *Clavatoraceae*, *Tethys*, Early Cretaceous, Barremian–early Aptian

Clavatoraceae is an extinct charophyte family found in the Late Jurassic–Late Cretaceous. The fructification is formed by the oogonium that is covered by the utricle. Due to their high evolutionary rates and diversity, the utricles are used as non-marine biostratigraphic and paleoenvironmental markers (e.g., Riveline et al., 1996; Pérez-Cano et al., 2022a, b), and biogeographic studies (e.g., Martín-Closas, 2015).

The remains of the *Clavatoraceae* family (thalli and fructifications) are found in the Late Jurassic–Early Cretaceous of Portugal (e.g., Rey and Ramalho, 1974; Grambast-Fessard, 1986). These studies show a high diversity of species, of almost all the clavatoracean genus, in the aforementioned timespan. Some species have their type locality in Portugal or even are, so far, endemic from here, as *Asciidiella reticulata irregularis* (Grambast-Fessard, 1986).

Echinochara (Peck) emend Pérez-Cano, Bover-Arnal et Martín-Closas is a poorly known *Clavatoraceae* genus whose stratigraphic range is Late Jurassic–Early

Cretaceous. Until now, three species are ascribed to this genus, *E. spinosa* (Peck), *E. lazarii* (Martín-Closas) Mojon ex Pérez-Cano, Bover-Arnal et Martín-Closas and *E. triplicata* (Trabelsi et Martín-Closas) from the Kimmeridgian, Barremian–early Aptian, and Albian, respectively. These species are found in a few localities in North America, Europe and North Africa. The present work reports the occurrence of *Echinochara lazarii* (Martín-Closas) Mojon ex Pérez-Cano, Bover-Arnal et Martín-Closas in the Arrifes section (Albufeira, Algarve Basin). The utricle of this species is composed of two superimposed series of bract cells (Fig. 1). The inner one has a small and rounded cell at the base and three long cells that cover the gyrogonite in the abaxial part. The outer one has a central fan of three cells that is flanked by two long cells at each side. The utricles have been recovered from one marl bed in the late Barremian–early Aptian interval (see Mendes et al., 2023) of the Arrifes section where they are associated to abundant marine ostracods and echinoid fragments.

E. lazarii remains mainly consist of a few utricles that preserve the inner bract-cell series and can have the cast of the uncalcified gyrogonite attached. This preservation and their association to marine organisms indicate lateral transport.

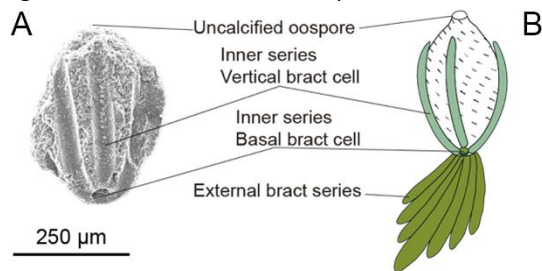


Fig. 1. A, Utricle of *Echinochara lazarii* from the Arrifes section. B, Reconstruction of the utricle (modified from Pérez-Cano et al. 2020).

This is the first time that *E. lazarii* is described in Portuguese basins. In the Barremian–early Aptian, this species is well-distributed in Western Tethyan basins (Fig. 2), where it preferably thrived in brackish settings. The new record enhances the knowledge about the distribution of *E. lazarii* and will permit to improve the biogeographic clavatoracean studies. Moreover, the continuity of the Aptian non-marine record in the Algarve Basin should help to observe the evolution of the genus *Echinochara* during the Aptian.

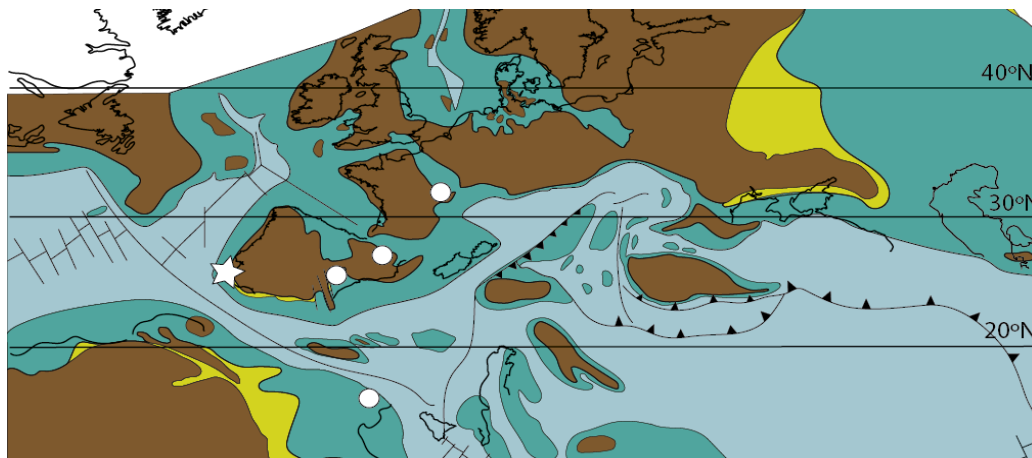


Fig. 2. Biogeographic distribution of *Echinochara lazarii* in the Barremian–early Aptian (map modified from Masse, 2000).

Acknowledgments: This is a contribution to the project IBERINSULA (PID2020-113912GB-100), funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and the European Regional Development Fund (ERDF). JP-C Margaria Salas postdoctoral contract is supported by the Ministerio de Universidades of Spain, “Plan de recuperación, transformación y resiliencia” of Spanish Government and the Next Generation funds from the European Union.

References

- Grambast-Fessard, N. (1986). Deux nouveaux représentants du genre *Asciidiella* (Clavatoraceae, Charophyta). *Geobios*, 19(2), 255-260.
- Martín-Closas, C. (2015). Cosmopolitanism in Northern Hemisphere Cretaceous Charophyta. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 438, 9-23.
- Masse, J.P. (2000). Early Aptian. In: J. Dercourt, M. Gaetani, B. Vrielynck, E. Barrier, B. Biju-Duval, J.P. Brunet, S. Crasquin & M. Sandulescu, (eds.). *Atlas Peri-Tethys, Palaeogeographical Maps*. CCGM/CGMW., 119-127.
- Mendes, M., Descamps, G.S., Fernandes, P., Lopes, G., Jorge, R.C.G.S. & Pereira, Z. (2023). The upper Hauterivian–Barremian Lower Cretaceous Arrifes section (Algarve Basin, Southern Portugal): a palynostratigraphic and palaeoenvironmental approach. *Cretaceous Research*, 144, 105433.
- Pérez-Cano, J., Bover-Arnal, T. & Martín-Closas, C. (2020). Barremian charophytes from the Maestrat basin. *Cretaceous Research*, 115, 104544.
- Pérez-Cano, J., Bover-Arnal, T. & Martín-Closas, C. (2022a). Barremian–early Aptian charophyte biostratigraphy revisited. *Newsletters on Stratigraphy*, 55(2), 199-230.
- Pérez-Cano, J., Bover-Arnal, T. & Martín-Closas, C. (2022b). Charophyte communities in Barremian Iberian wetlands. *Facies*, 68, 13.
- Rey, J. & Ramalho, M. (1974). Le Crétacé Inférieur de l’Algarve occidentale (Portugal). *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 57, 155-181.
- Riveline, J., Berger, J.P., Bilan, W., Feist, M., Martín-Closas, C., Schudack, M. & Soulié-Märsche, I. (1996). European Mesozoic–Cenozoic Charophyte biozonation. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 167, 453-468.

Late Barremian–early Aptian charophytes from the Arrifes section (Algarve). Biostratigraphy and correlation with marine domain

Carófitas do Barremiano Superior–Aptiano Inferior da secção dos Arrifes (Algarve). Bioestratigrafia e correlação com o domínio marinho

J. Pérez-Cano (1,2), H. J. R. Pereira (3,4), M. Mendes (5), Z. Pereira (5), P. M. Callapez (3) and P. Fernandes (4)*

(1) Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont, Universitat Autònoma de Barcelona, ICTA-ICP building, c/de les Columnes s/n, Campus de la UAB, Cerdanyola del Vallès E-08193, Catalonia, Spain.

(2) Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona-UB, 08028 Barcelona, Catalonia, Spain.

(3) Centre for Earth and Space Research of the University of Coimbra (CITEUC), Faculty of Sciences and Technology, Earth Sciences Department, University of Coimbra - Pólo II, Rua Sílvio Lima, 3030–790 Coimbra, Portugal.

(4) CIMA, Centre for Marine and Environmental Research, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal. pfernandes@ualg.pt

(5) LNEG, National Laboratory of Energy and Geology, R. da Amieira, 4465-965, S. Mamede de Infesta, Portugal.

Sumário: A secção estratigráfica dos Arrifes (Albufeira, Algarve) foi estudada, em detalhe, para bioestratigrafia de carófitas. Este estudo permitiu-nos reconhecer duas associações distintas: i) A primeira, composta por *Echinochra lazarii*, *Atopchra trivolvris triquetra*, *A. trivolvris trivolvris*, *Clavator grovesii jiuquanensis*, *Clavator harrisii harrisii* e *C. harrisii zavalensis*, pertence à biozona de *Clavator grovesii* var. *jiuquanensis* do Barremiano superior–Aptiano inferior da Eurásia; ii) A segunda, com *A. trivolvris trivolvris*, *Clavator grovesii corrugatus* e *C. harrisii zavalensis*, é atribuída à biozona de *Clavator grovesii* var. *corrugatus* do Aptiano superior–Albiano médio. Estas biozonas de carófitas correlacionam-se com dados de palinórfos publicados recentemente. Com base nessa correlação, a base da Zona *Corrugatus* é atribuída ao Aptiano inferior, considerando a sua ocorrência em estratos que contêm quistos do dinoflagelado *Odontochinia operculata*, pelo que é um pouco mais antiga do que se pensava previamente.

Key words: Charophyta, Clavatoraceae, Lower Cretaceous, biochronology, Iberia

Palavras-chave: Charophyta, Clavatoraceae, Cretáceo Inferior, biocronologia, Iberia

Charophyte fructifications (utricles) of the family Clavatoraceae are one of the main fossils used for the biostratigraphic characterization of the Lower Cretaceous non-marine record (e.g., Grambast, 1974; Riveline et al. 1996). However, only in few cases, these continental biozones could be correlated with the coeval marine domain (e.g., Martín-Closas et al., 2009), which are those used as standard biozones.

The present work studied the charophyte succession in the Arrifes section (Algarve Basin). The section is ca. 200 m-thick and it is composed of the interbedding of marine and continental facies that contain marine and continental palynomorphs, including spores, pollen grains and dinoflagellate cysts, being the latter used as biostratigraphic markers (Mendes et al., 2023).

The present work is focused on the charophyte succession in this stratigraphic section with the

objective of correlate it with the dinoflagellates. Two charophyte assemblages, with biostratigraphic interest are distinguished. The lower one is between the 65 and 135 m, and is formed by *Echinochra lazarii*, *Atopchra trivolvris* var. *triquetra* and *A. trivolvris* var. *trivolvris*, *Clavator grovesii* var. *jiuquanensis* (and few, <5% *C. grovesii* var. *corrugatus*), *Clavator harrisii* var. *harrisii*, and *C. harrisii* var. *zavalensis* (Fig. 1A–F). This association belongs to the late Barremian–early Aptian Eurasian Jiuquanensis biozone (Pérez-Cano et al. 2022), and to the late early Barremian–early Aptian European *Asciidiella cruciata*-*Pseudoglobator paucibracteatus* biozone (Martín-Closas et al., 2009; Pérez-Cano et al., 2022). The charophyte assemblage is found in beds with *Subtilisphaera scabrata* (early–earliest late Barremian) and *Odontochinia operculata* (late Barremian upwards) dinoflagellate cysts.

The upper assemblage is found from the 135m upwards and includes *Atopochara trivolvis* var. *trivolvis*, *Clavator grovesii* var. *corrugatus* populations, and *C. harrisii* var. *zavialensis* (Fig. 1G–L). This biozone was associated to the late Aptian–middle Albian (Riveline et al. 1996). In the Arrifes section this assemblage is found interbedded in levels with *O. operculata* dinoflagellate cyst. The top of this dinoflagellate cyst biozone is in the First Occurrence (FO) of the *Criboperidinium teuniceras* (Leereveld, 1997). Thus, according to the data given in the early Aptian stratotype, where the FO of this dinoflagellate cyst is correlated with the standard ammonite biozonation (Masure et al., 1998), the FO of this

species is in the early–late Aptian boundary, at the base of Furcata ammonite biozone. Thus, following the dinoflagellate correlation against ammonites, the base of the Corrugatus biozone must be early Aptian. Martín-Closas et al., (2009) found charophytes of the Jiuquanensis and Crucata-Paucibracteatus biozones in levels that are correlated with the early Aptian Weisii (present-day Forbesii) ammonite biozone. This data encloses the base of the Corrugatus biozone to the interval between Forbesii and Furcata biozones. This is the first time that charophyte biozones and dinoflagellate cysts are correlated. More studies are needed to establish with higher precision the base of the Corrugatus biozone.

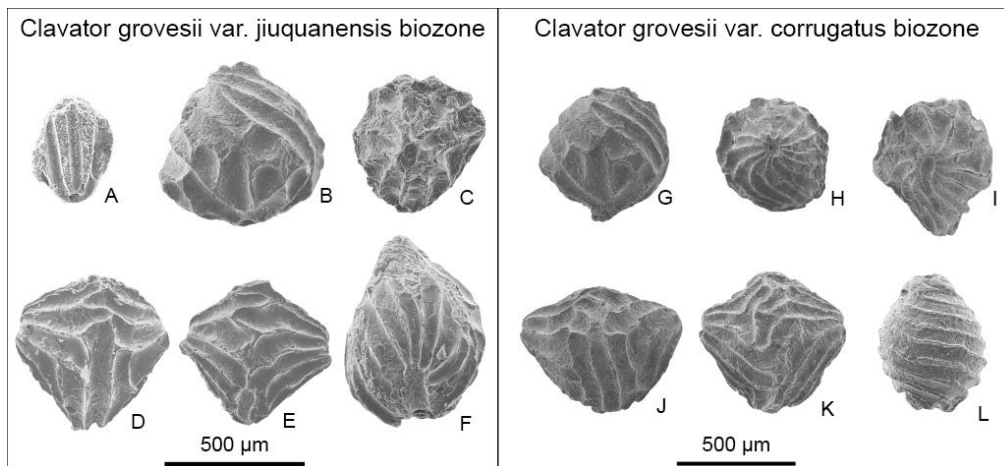


Fig. 1. Charophytes (fructifications) from the Arrifes section. A–F) Species of the Jiuquanensis biozone. A) *Echinochara lazarii*; B) *Atopochara trivolvis* var. *triquetra*. C–E) *Clavator grovesii* var. *jiuquanensis*. C) Lateral view; D) Adaxial view; E) Abaxial view. F) *Clavator harrisii* var. *harrisii*. G–L). Species of the Corrugatus biozone. G) *Atopochara trivolvis* var. *trivolvis*; H–K) *Clavator grovesii* var. *corrugatus*. H–I) Lateral views; J) Adaxial view; K) Abaxial view. L) *Clavator harrisii* var. *zavialensis*. All the samples will be housed at Museu Geológico de Lisboa.

Acknowledgments: This is a contribution to the project IBERINSULA (PID2020-113912GB-I00), funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and the European Regional Development Fund (ERDF). JP-C Margaria Salas postdoctoral contract is supported by the Ministerio de Universidades of Spain, “Plan de recuperación, transformación y resiliencia” of Spanish Government and the Next Generation funds from the European Union.

References

- Grambast, L. (1974). Phylogeny of Charophyta. *Taxon*, 23, 463-481.
- Leereveld, H. (1997). Hauterivian-Barremian (Lower Cretaceous) dinoflagellate cyst stratigraphy of the western Mediterranean. *Cretaceous Research*, 18, 421-456.
- Martín-Closas, C., Clavel, B., Schroeder, R., Charollais, J. & Conrad, M.A. (2009). Charophytes from the Barremian-lower Aptian of the Northern Subalpine Chains and Jura Mountains, France: correlation with associated marine assemblages. *Cretaceous Research*, 30, 49-62.
- Masure, E., Raynaud, J.F., Pons, D. & de Reneville, P. (1998). Palynologie du stratotype historique de l'Aptien inférieur dans la région de Cassis-La Bédoule (SE France). *Géologie Méditerranéenne*, 25 (3), 263-287.
- Mendes, M., Descamps, G.S., Fernandes, P., Lopes, G., Jorge, R.C.G.S. & Pereira, Z. (2023). The upper Hauterivian–Barremian Lower Cretaceous Arrifes section (Algarve Basin, Southern Portugal): a palynostratigraphic and palaeoenvironmental approach. *Cretaceous research*, 144, 105433.
- Pérez-Cano, J., Bover-Arnal, T. & Martín-Closas, C. (2022). Barremian–early Aptian charophyte biostratigraphy revisited. *Newsletters on Stratigraphy* 55(2), 199-230.
- Riveline, J., Berger, J.P., Bilan, W., Feist, M., Martín-Closas, C., Schudack, M. & Soulié-Märsche, I. (1996). European Mesozoic–Cenozoic Charophyte biozonation. *Bulletin Société Géologique de France*, 167, 453-468.

First report of *Obaichthys africanus* Grande, 2010, from the Cenomanian of Baixo Mondego (Upper Cretaceous, Coimbra, Portugal)

Primeira ocorrência de *Obaichthys africanus* Grande, 2010, no Cenomaniano do Baixo Mondego (Cretácico Superior, Coimbra, Portugal)

R. Pimentel (1,2), F. Barroso-Barcenilla (1,3,4), M. Berrocal-Casero (3,4), P. Callapez (1,2,3,5), S. Ozkaya de Juanas (1,3), V. Santos (3,6) and M. Segura (3)

(1) CITEUC, Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. ricardopimentel@esjcff.pt

(2) GEOBIOTEC, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal.

(3) Grupo de Investigación Paleolbérica, Departamento de Geología y Geografía, Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, España.

(4) Grupo de Investigación Procesos Bióticos Mesozoicos, Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, España.

(5) Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, 3030-790 Coimbra, Portugal.

(6) Departamento de Geologia (Instituto D. Luís), Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa, Portugal.

Sumário: No topo do nível B (Cenomaniano médio terminal a superior basal) em Casais dos Carecos (Coimbra), foram recolhidas escamas desarticuladas de *Obaichthys africanus*. O seu excelente estado de preservação permite a observação de muitos caracteres diagnósticos. As escamas são atribuíveis ao género *Obaichthys* devido ao espinho bem desenvolvido que se projeta a partir da região mediana da margem posterior, na direção rostro-caudal, ao sistema de encaixe dorsoventral e ao processo anterodorsal para articulação com as escamas adjacentes. A ornamentação ganoide com costilhas permite distinguir estes materiais de escamas de *O. decoratus*, as quais se caracterizam pela presença de tubérculos arredondados.

Palavras-chave: Cenomaniano, *Lepisosteioidea*, *Obaichthys africanus*, escamas, Casais dos Carecos (Coimbra)

Key words: Cenomanian, *Lepisosteioidea*, *Obaichthys africanus*, scales, Casais dos Carecos (Coimbra)

Scales assigned to *Paleoniscidae* indet. and *Stromerichthys aethiopicus* Weiler, 1935, have been scarcely recorded in the Cenomanian series of Portuguese Oeste (e.g., Sauvage, 1897-1898; Jonet, 1971), and have been recently reidentified as *Obaichthys africanus* Grande, 2010, by Cavin et al. (2015). New *Lepisosteioidea* materials were recently noticed in Cenomanian beds of the West Portuguese Carbonate Platform exposed near Casais dos Carecos, Coimbra, in the Baixo Mondego ranges. In the studied section of Beiraterra quarry, the shallow marine succession includes a fossil-rich basal member ("Unit B") of interbedded sandstones, sandy limestones, mudstones and marls with *Gyrostrea* pavements, uppermost middle Cenomanian in age (Soares, 1980), where a diverse vertebrate assemblage has been sampled.

The taphonomic preservation of these scales is adequate for their taxonomical study, without signs of distortion or intensive abrasion, and many diagnostic characters still present. The examined material includes five rectangular and well-preserved

flank scales with a shiny ganoine layer on their surface and antero-posterior subparallel ridges. The medium ridge is more pronounced and forms a spine towards caudal direction. Two scales have a dorsoventral articulation with peg-and-socket, comprising a dorsal spine-like peg which fits in a narrowed socket in the medial surface of the scale. The anterior area has no processes and is just overlapped by an adjacent scale, or it has a small anterodorsal process, longitudinal for articulation (Fig. 1).

The scales are diagnosable for genus *Obaichthys* as they have a strong spine protruding from the middle of the posterior border in a rostro-caudal direction (López-Arbarello, 2012), dorsoventral peg-and-socket and a small anterodorsal process for articulation of adjacent scales (López-Arbarello & Sferco, 2018). The quite typical sculpture with ganoid lines and grooves distinguishes these specimens from those of *O. decoratus* Wenz & Brito, 1992, which present rounded tubercles (Grande, 2010; Cavin et al., 2015). On the contrary, they are very similar to *Obaichthys*

africanus Grande, 2010, both in their shape and sculpture.

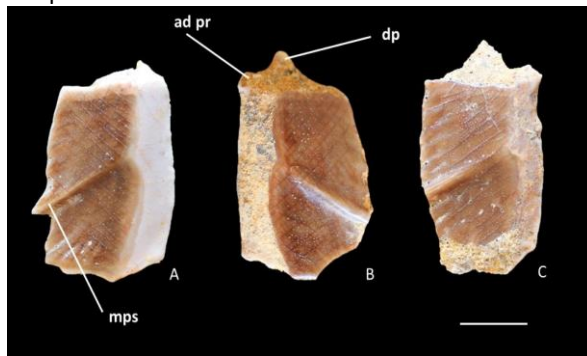


Fig. 1. External views of *Obaichthys africanus* Grande, 2010; flank scales DCT-CC-15 (A), DCT-CC-16 (B) and DCT-CC-17 (C) from Casais dos Carecos, in the Baixo Mondego ranges (Coimbra, West Portugal). Abbreviations: mps - strong middle posterior spine; ad pr - anterior dorsal process; dp - dorsal peg. Scale bar = 1 cm.

Based on these new materials, this species is recognised for the first time in Cenomanian beds

from the northern sector of the West Portuguese Carbonate Platform, where it stands out as an interesting addition to the local vertebrate diversity of the Upper Cretaceous units from the Baixo Mondego and Coimbra ranges. In Spain, also several scales of this species have been identified in Cenomanian coastal deposits in Algora (e.g., Berrocal-Casero, 2022), a palaeontological site that seems to be analogous to Casais dos Carecos.

The new occurrence of *O. africanus* in mixed facies with several marine taxa also points out to a shallow marine coastal environment located in the transition of the carbonate platform to an alluvial system. The preservation of the scales is pristine, suggesting that they are sub-autochthonous. It is also likely that this obaichthyid was an euryhaline fish who could swim in marine waters of this paralic environment, despite to be previously known from freshwater to brackish facies (e.g., Cavin et al., 2015).

Acknowledgements: Research Contracts UI/BD/150971/2021 through CITEUC of the Foundation for Science and Technology (Portugal) and Margarita Salas UCM CT31/21 of the Complutense University of Madrid (Spain), and Research Project SBPLY/21/180501/000242 of the Junta de Castilla-La Mancha and the University of Alcalá (Spain).

References

- Berrocal-Casero, M. (2022). Ecosistemas del Cretácico de Guadalajara: De la costa al mar. Servicio de Publicaciones de la Diputación Provincial de Guadalajara. Guadalajara, 115 pp.
- Cavin, L., Boudad, L., Tong, H., Lång, E., Tabouelle, J. & Vullo, R. (2015). Taxonomic composition and trophic structure of the continental bony fish assemblage from the early Late Cretaceous of southeastern Morocco. *PLoS ONE*, 10, e0125786.
- Grande, L. (2010). An empirical synthetic pattern study of gars (Lepisosteiformes) and closely related species, based mostly on skeletal anatomy. The resurrection of holostei. *American Society of Ichthyologists and Herpetologists, Special Publication*, 6, 1-871.
- Jonet, S. (1971). Présence du poisson ganoïde *Stromerichthys aethiopicus* Weiler dans le Cénomaniens portugais. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Ciências Naturais*, 213, 33-38.
- López-Arbarelo, A. (2012). Phylogenetic Interrelationships of Ginglymodian fishes (Actinopterygii: Neopterygii). *PLOS ONE*, 7(7), e39370. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039370>
- López-Arbarelo, A. & Sferco, E. (2018). Neopterygian phylogeny: the merger assay. *Royal Society Open Science*, 5(3), 72337. <https://doi.org/10.1098/rsos.172337>
- Sauvage, H.E. (1897-1898). Vertébrés fossiles du Portugal. Contributions à l'étude des poissons et des reptiles du Jurassique et du Crétacé. Lisbonne, Direction des travaux géologique du Portugal, 46 pp.
- Soares, A.F. (1980). A "Formação Carbonatada" na região do Baixo-Mondego. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 66, 99-109.
- Weiler, W. (1935). Ergebnisse der Forschungsreisen Prof. E. Stromers in den Wüsten Ägyptens. II. Wirbeltierreste der Baharije-Stufe (unterstes Cenoman). Neue Untersuchungen an den Fishresten. *Abhandlungender Bayerischen Akademie der Wissenschaften Mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung Neue Folge*, 32, 1-57.
- Wenz, S. & Brito, P.M. (1992). Découverte de Lepisosteidae (Pisces, Actinopterygii) dans le Crétacé Inférieur de la Chapada do Araripe (N-E du Brésil): Systématique et phylogénie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, 2^{ème} série*, 314, 1519-1525.

Theropod footprints in the Lower Cretaceous of the Algarve Basin (Porto de Mós, Lagos), Portugal

Pegadas de terópodes no Cretácico Inferior da Bacia do Algarve (Porto de Mós, Lagos), Portugal

V. F. Santos (1,2,3), J. Audije-Gil (3), F. Barroso-Barcenilla (3,4,5), M. Berrocal-Casero (3,4), P. M. Callapez (3,5), E. Malafaia (2), S. Ozkaya de Juanas (3,5), H. Pereira (5,6), R. Pimentel (5), M. Segura (3)

(1) Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal. vafsantos@ciencias.ulisboa.pt

(2) Instituto Dom Luiz (FCUL), Campo Grande, 1749-016, Lisboa, Portugal.

(3) Grupo de Investigación Paleolbérica, Departamento de Geología y Geografía, Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, España.

(4) Grupo de Investigación Procesos Bióticos Mesozoicos, Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, España.

(5) CITEUC, Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

(6) CIMA, Centre for Marine and Environmental Research, University of Algarve, Faro, Portugal.

Sumário: Na Praia de Porto de Mós (Lagos, SW Bacia do Algarve) foi reconhecida a existência de pegadas de dinossáurio num nível do Aptiano (Cretácico Inferior). O seu estudo tem sido difícil e moroso porque a superfície só está emersa durante a baixa-mar e, na maior parte das vezes, está coberta por areia. Apesar da superfície da laje com as pegadas se encontrar revestida por algas marinhas, é possível estimar as dimensões dessas pegadas e compreender a sua morfologia. Esta nova ocorrência fornece uma evidência única, até ao momento, do registo de pegadas de grandes terópodes do Cretácico Inferior na Bacia do Algarve. A descoberta deste registo contribui para melhorar o conhecimento sobre a paleobiologia e paleoecologia destes dinossáurios e tem implicações para a interpretação da distribuição paleobiogeográfica dos terópodes do Cretácico da Península Ibérica e sudoeste da Europa.

Palavras-chave: terópodes, pegadas, Cretácico Inferior, Algarve, Portugal

Key words: theropods, tracks, Lower Cretaceous, Algarve, Portugal

Dinosaur tracks from the Algarve Basin (SW Portugal) have been explored and described in the last two decades, yet this track record is still scarce (Santos et al., 2000a, 2000b, 2013, 2016; Santos, 2003, 2016). In 1992, Pedro Terrinha recognized dinosaur remains (teeth and longitudinal sections of vertebrae) at Praia de Porto de Mós (Lagos, SW Algarve Basin) in a limestone layer Aptian in age (Lower Cretaceous), which were tentatively assigned to theropods (Santos et al., 2000a, 2013, 2016; Santos, 2003, 2008). In 1995, Carlos Coke found a set of small tridactyl footprints with theropod affinity at the Lower Cretaceous of Praia da Salema (Vila do Bispo, SW Algarve Basin) that were the first evidence of dinosaur footprints identified in the Algarve Basin (Santos et al., 2000a, 2016; Santos, 2016). After this discovery a systematic prospecting paleontological work has been carried out in the coastal area between Vila do Bispo and Lagos. In 2001, it was verified that the osteological remains at Praia de Porto de Mós were poorly preserved and 50 cm

above this level an isolated tridactyl footprint was identified. Another isolated tridactyl footprint from a level 80 cm above the dinosaur osteological remains was identified by Hugo Fernandes in 2006 (Santos, 2008) at the same locality. In the summer of 2017, José Jácome identified several tridactyl impressions on a slab surface only accessible during the low tide. There are several footprints and at least two trackways. However, until now, it had not been possible to do a complete survey of the track surface because usually it is underwater and covered by beach sands. It took time until it was possible to do some research work to get photographs and measurements. Despite the track surface is covered by seaweed, it is possible to estimate the dimensions of the footprints and understand their morphology. The best preserved tridactyl footprint is 75 cm long by 60 cm wide, with long and robust digit impressions with tapered termination and strong mesaxony (Fig. 1). These general morphological features suggest that these footprints were produced by a theropod. This

new occurrence yields unique evidence of Lower Cretaceous large theropod tracks record currently known in the Algarve Basin. It also contributes to improve our knowledge about the palaeobiology and palaeoecology of these dinosaurs and has

implications for the interpretation of the palaeobiogeographical distribution of Cretaceous theropods of the Iberian Peninsula and southwestern Europe.



Fig. 1. *Tridactyl* tracks on an Aptian (Lower Cretaceous) limestone layer at Praia de Porto de Mós (Lagos, SW Algarve Basin), usually covered by sand and only visible during low tide, reveal the presence of large theropod dinosaurs in the SW Europe during the Early Cretaceous.

Acknowledgements: We would like to thank Beatriz Oliveira, Guadalupe Jácome, Hugo Fernandes, Joana Revez, Gil Rossi, José Jácome and Margarida Agostinho for their collaboration in the footprint prospecting campaigns on the Praia de Porto de Mós (Lagos, SW Algarve Basin). This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds (PIDDAC) – UIDB/50019/2020-IDL.

References

- Santos, V.F. (2003). Pistas de dinossáurio no Jurássico-Cretácico de Portugal. Considerações paleobiológicas e paleoecológicas. Tese de Doutoramento, Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid, 365 pp.
- Santos, V.F. (2008). Pegadas de dinossáurios de Portugal. Museu Nacional de História Natural da Universidade de Lisboa, 123 pp.
- Santos, V.F. (2016). Dinosaur tracks in the southwest Algarve basin. *Comunicações Geológicas*, 103 (Especial I), 117-120.
- Santos, V.F., Callapez, P.M. & Rodrigues, N.P.C. (2013). Dinosaur footprints from the Lower Cretaceous of the Algarve Basin (Portugal): New data on the ornithopod palaeoecology and palaeobiogeography of the Iberian Peninsula. *Cretaceous Research*, 40, 158-169.
- Santos, V.F., Dantas, P.M., Moratalla, J.J., Terrinha, P., Coke, C., Agostinho, M. & Galopim de Carvalho, A.M. (2000a). Primeiros vestígios de dinossáurios na Orla Mesozóica Algarvia, Portugal. *Resumos I Congresso Ibérico de Paleontologia e XVI Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, Universidade de Évora, pp. 20-21.
- Santos, V.F., Dantas, P.M., Moratalla, J.J., Terrinha, P., Coke, C., Agostinho, M. & Galopim de Carvalho, A.M. (2000b). Rastos de Iguanodontídeos no Cretácico da Bacia Algarvia, Portugal. *Resumos I Congresso Ibérico de Paleontologia e XVI Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, Universidade de Évora, pp. 22-23.
- Santos, V.F., Agostinho, M., Barroso-Barcenilla, F., Callapez, P.M., Castanera, D., Fernandes, P., Oliveira, B.T., Rodrigues, L.A. & Segura, M. (2016). First evidence of sauropod tracks in the Lower Cretaceous of the Algarve Basin (Portugal). *Abstract Book Ichnia 2016*, 216-217.

Foraminíferos miocénicos de Porto Santo (Madeira, Portugal)

Foraminifera from the Miocene of Porto Santo (Madeira, Portugal)

L. Santos (1), P. Legoinha (2) e P. M. Callapez (3,4)

(1) Departamento de Ciências da Terra, FCT NOVA, UNL, Campus de Caparica, 2829-516, Portugal.

(2) GEOBIOTEC, Departamento de Ciências da Terra, FCT NOVA, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal. pal@fct.unl.pt

(3) CITEUC - Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, 3030-790 Coimbra, Portugal.

(4) Grupo de Investigación Paleolítica, Departamento de Geología y Geografía, Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, España

Summary: *Foraminifera from Miocene outcrops located in the northeast region of Porto Santo Island (Madeira, Portugal), between Serra de Dentro and Pico Branco hills, were studied. Four outcrops with exposed parareef deposits and conglomerates - c1 and c2 units, corresponding to the submarine phase of the volcanic edifice construction, which gave rise to the island, were analysed. A bulk of 24 samples was collected and processed, and 20 planktonic species and 22 benthic genera were identified. The presence of Praeorbulina glomerosa and Orbulina suturalis and the absence of Orbulina universa allows assignation of the fossiliferous units to the Blow's N9 biozone, corresponding to Langhian (Middle Miocene, 15.1-14.74 Ma). The benthic foraminifera are mainly represented by Cibicides and Cibicidoides, common Heterolepa, Lenticulina, Asterigerinata, Quinqueloculina, Bolivina, Amphistegina, Textularia, Nonion and Ammonia, and seldom Elphidium, Uvigerina, Parafissurina, Cancris, Lagena, Melonis, Reussella, Operculina, Orthomorphina and Astacolus. The assemblages indicate infralitoral to circalitoral paleoenvironments. The oceanity index suggests depths between 15 and 70 m. The Pico Branco outcrop presents greater abundance and taxonomic diversity of foraminifera. Some strata yield large amounts of Amphistegina, related to the hard and phytal substrate of a shallow marine, warm and high energy environment. The sedimentation occurred during the eustatic maximum of 2.4 (Haq et al., 1987), followed by the Island emersion and the subaerial volcanism since 14 Ma.*

Key words: *Foraminifera, paleoenvironments, Miocene, Porto Santo Island*

Palavras-chave: Foraminíferos, paleoambientes, Miocénico, Ilha do Porto Santo

O conhecimento da vulcano-estratigrafia da Ilha do Porto Santo deve-se essencialmente à carta geológica de Porto Santo (escala 1/25 000) publicada por Ferreira & Neiva (1996). Segundo Mata *et al.* (2013), as rochas vulcânicas submarinas são mais importantes em volume do que as de origem subárea e a transição das fácies submarinas a subáreas é bem visível na região nordeste da ilha, sobretudo ao longo das arribas, e junto à ribeira da Serra de Dentro. Foi entre a Serra de Dentro e o Pico Branco que se estudaram os cortes geológicos e recolheram as amostras, em afloramentos cartografados como "cg1" e "cg2" por Ferreira & Neiva (1996), com vista ao estudo dos foraminíferos.

Estudos prévios sobre foraminíferos miocénicos são praticamente inexistentes. Silva (1956) reconheceu a ocorrência de *Amphistegina hauerina* d'Orbigny, 1846. Neste estudo, identificaram-se 20 espécies planctónicas e 22 géneros bentónicos. Na determinação taxonómica seguiu-se Worms (2022), Young *et al.* (eds) - pforams@mikrotax, Kennett & Srinivassen (1983) e Loeblich & Tappan (1988).

A presença de *Praeorbulina glomerosa*, *Trilobatus sicanus*, *Trilobatus bisphericus* e, especialmente, *Orbulina suturalis*, e a ausência de *Orbulina universa*, permite restringir os níveis "cg1" e "cg2" (depósitos parareefais e conglomerados), ao intervalo 15.1-14.8 Ma, biozona N9 de Blow (1969), possibilitando o seu enquadramento cronostratigráfico no Langhiano (Miocénico Médio). Esta idade é similar à do nível "cg3", cerca de 15.2 Ma, segundo Ferreira & Neiva (1996). Consequentemente, a sedimentação da fase submarina da ilha do Porto Santo ocorreu durante o máximo eustático do ciclo 2.4 (Haq *et al.*, 1987) seguindo-se a emersão da ilha e vulcanismo subaéreo a partir dos 14 Ma.

As idades propostas por Ferreira & Neiva (1996) para "cg1" e "cg2" (entre 19.3 e 17.6 Ma) são incompatíveis com a informação obtida pelos foraminíferos planctónicos. O mesmo já tinha sido notado por Cachão *et al.* (1998) que, com base em associações de nanofósseis calcários (presenças do esfenólito *Sphenolithus heteromorphus* e do helicólito *H. walbersdorfensis* e ausência de *Helicosphaera ampliaptera*) restringiram os níveis "cg1" e "cg2" ao

Serravaliano superior, e sugeriram que todos os níveis cartografados como "cg" teriam a mesma idade (cerca de 14 Ma).

As associações de foraminíferos bentônicos são constituídas, na sua maioria, pelos géneros *Cibicides* e *Cibicoides*, incluindo *Heterolepa*, *Lenticulina*, *Asterigerinata*, *Quinqueloculina*, *Bolivina*, *Amphistegina*, *Textularia*, *Nonion* e *Ammonia*, e mais raramente *Elphidium*, *Uvigerina*, *Bulimina*, *Rotalidium*, *Parafissurina*, *Cancris*, *Lagena*, *Melonis*, *Reussella*, *Operculina*, *Orthomorphina* e *Astacolus*, permitindo inferir paleoambientes com batimetrias entre os andares infralitoral a circalitoral.

O índice de oceanidade (Bellier *et al.*, 2010) para o corte com as associações mais ricas de foraminíferos, revela uma variação entre 5 % e 38 %. A profundidade dos substratos marinhos terá oscilado entre 15 m e 70 m.

O corte de Pico Branco (Fig. 1) apresentou maior abundância e diversidade de foraminíferos, com

alguns níveis muito ricos de *Amphistegina*, género relacionado com substratos duros e fitais, e com águas quentes, pouco profundas e agitadas por ondulação.



Fig. 1. Aforamento miocénico de Pico Branco (Ilha do Porto Santo).

Referências

- Bellier, J.-P., Mathieu, R. & Granier, B. (2010). *Cours traité de foraminiférologie (L'essentiel sur les foraminifères actuels et fossiles)*. Carnets de Géologie.
- Blow, W.H. (1969) - Late middle Eocene to recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *Proc. First Intern. Confer. on Planktonic microfossils*, Geneva 1967, 1, 199-442.
- Cachão, M., Rodrigues, D., da Silva, C.M. & Mata, J. (1998). Biostratigrafia (Nanofósseis calcários) e interpretação paleoambiental do Neogénico de Porto Santo (Madeira), (dados preliminares). *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 84, 185-188.
- Ferreira, M.P. & Neiva, J.C. (1996). Carta Geológica de Portugal. Folha da Ilha de Porto Santo (escala 1:25 000). Instituto Geológico e Mineiro e Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. & Vail, P.R. (1987). Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235, 1156-1166.
- Silva, G.H. (1956). Contribution à la connaissance de la faune fossile de l'île de Porto Santo. *Memórias e Notícias*, 42, 26-28.
- Kennett, J.P. & Srinivasan, M.S. (1983). *Neogene Planktonic Foraminifera, A Phylogenetic Atlas*. University of Rhode Island. Hutchinson Ross Publishing.
- Loeblich Jr, A.R. & Tappan, H. (1988). *Foraminiferal Genera and their Classification*. Vol. 1. Van Nostrand Reinhold.
- Mata, J., Fonseca, P.E., Prada, S., Rodrigues, D., Martins, S. & Ramalho, R. (2013). O arquipélago da Madeira. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J.C. Kullberg (eds.). *Geologia de Portugal*. vol. 2. Escolar Editora. 691-746.
- Santos, L.G. (2022). *Foraminíferos miocénicos de Porto Santo (Madeira, Portugal)*. Dissertação de mestrado em Paleontologia, FCT NOVA, UNL, 91 pp. <http://hdl.handle.net/10362/147829>
- Worms (2022). World Register of Marine Species. Flanders Marine Institute (VLIZ, Belgium). <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1410>
- Young, J.R., Wade, B.S. & Huber B.T. (eds.). pforams@mikrotax website. URL: <https://www.mikrotax.org/pforams>

Observação dos processos diagenéticos em dentes de saurópodes: métodos geoquímicos que aperfeiçoam estudos isotópicos em Paleontologia

Observation of diagenetic processes on sauropod teeth: geochemical methodologies that improve isotopic studies in Paleontology

R. da Silva (1,2), B. Camilo (2,3,4), A. Balbino (4,5,6), P. Barrulas (7), M. Costa (7) e C. Ribeiro (1,5,8)

- (1) Instituto de Ciências da Terra, Pólo de Évora, Évora, Portugal. roberto.silva@uevora.pt
- (2) CI2Paleo - Centro de Paleobiologia e Paleoecologia, Sociedade de História Natural, Torres Vedras, Portugal.
- (3) European Centre of Paleontology, University of Opole, Opole, Polónia.
- (4) GeoBioTec, Monte da Caparica, Portugal.
- (5) Departamento de Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Évora, Portugal.
- (6) Academia das Ciências de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- (7) Laboratório HERCULES, Évora, Portugal.
- (8) MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Lisboa, Portugal.

Summary: Detailed mineralogical and geochemical studies done on sauropod teeth, from the Central Lusitanian Basin Upper Jurassic (XRD, FRX, SEM-EDS and LA-ICP-MS) revealed the consistent mineralogical constitution of the samples (hydroxyapatite) and a chemical composition dominated by Ca and P with minor amounts of Fe, Mg, Mn, Al and K. SEM imaging revealed a higher porosity of the dentine when compared to the enamel, making it less resistant to post-depositional chemical changes with formational fluids. Trace element distribution maps of the teeth (LA-ICP-MS) allowed the delimitation of the areas with diagenetically altered chemical composition.

Key words: Sauropoda, mineralogy, diagenetic processes, Upper Jurassic, geochemistry

Palavras-chave: Sauropoda, mineralogia, processos diagenéticos, Jurássico Superior, geoquímica

A ciência encontra-se atualmente, numa fase de forte evolução e expansão. Isto muito devido ao desenvolvimento exponencial das tecnologias e da explosão de conhecimento e à facilidade na partilha de informação à escala global. A Paleontologia não é exceção e, desde o século passado que têm vindo a mostrar uma forte ligação multidisciplinar com outras áreas científicas, com as quais prosperam cada vez mais, como é o caso da Geoquímica (Stephenson, 1985). Neste trabalho é apresentado um estudo geoquímico detalhado, com recurso a tecnologias laboratoriais de elevada precisão, aplicado à Paleontologia. Este trabalho, focou-se em dentes de saurópodes, recolhidos em formações do Jurássico Superior da Bacia Lusitaniana. Estes espécimes provêm, mais especificamente, de sectores centrais da Bacia Lusitaniana, nomeadamente das zonas de Torres Vedras – Lourinhã – Peniche – Foz do Arelho. O enchimento sedimentar destes sectores basinais é caracterizado, sobretudo, por sequências calcárias e margosas depositadas em ambientes marinhos, no Jurássico Inferior e Médio, e que evoluem para formações mais detríticas no Jurássico Superior (Kullberg *et al.*, 2006); esta evolução traduz a evolução do quadro paleogeográfico regional, de um ambiente de deposição marinha para um ambiente lacustre/fluviial (Alves *et al.*, 2002).

Os saurópodes contam com uma representação bastante significativa em Portugal (Mocho *et al.*, 2011), com ocorrências fósseis em formações geológicas de Alcobaça e Bombarral, da Praia da Amoreira-Porto Novo e nos membros do Sobral e Freixial. Em Portugal conhecem-se, até ao momento, cinco espécies de saurópodes portugueses: o turiasaurídeo *Zby atlanticus*, Mateus *et al.*, 2014; o camarassaurídeo macronário basal *Lourinhasaurus alenquerensis*, Lapparent & Zbyszewski, 1957; os titanosauriformes *Lusotitan atalaiensis*, Lapparent & Zbyszewski, 1957 e *Oceanotitan dantasi*, Mocho *et al.*, 2019; e por fim o diplodocídeo *Dinheirosaurus lourinhanensis* Bonaparte & Mateus, 1999. O estudo geoquímico incidiu nos quatro grupos, por forma a se verificar possíveis transversalidades entre espécies, tendo como objetivo final verificar a existência de uma assinatura geoquímica característica do ambiente em que os exemplares viveram, ou das transformações pós deposicionais, ocorridas durante a diagénese. Foram realizadas análises de difração de raios-X, onde foi observado que a mineralogia dos dentes é dominada pela hidroxilapatite. A fluorescência de raios-X confirmou que os dentes são compostos essencialmente por Ca e P em termos de elementos maiores, revelando também a presença de elementos menores como o Fe, Mg, Mn, Al e K, muito provavelmente por influência da presença residual de sedimento hospedeiro. Através da Microscopia

Elétrica de Varrimento com Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios-X observaram-se diferenças texturais entre o esmalte da coroa e a dentina da raiz, representativo das diferenças de porosidade entre as duas estruturas (Fig. 1). As zonas mais porosas têm um maior potencial para reagirem com os fluidos formacionais durante a diagênese e modificaram a sua assinatura geoquímica.

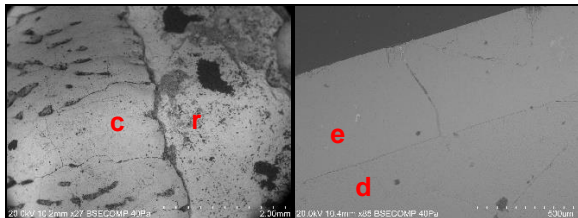


Fig. 1. Imagens obtidas através do SEM (eletrões retrodifundidos). Amostra SHN143 (esquerda), observação da estrutura externa, transição entre a coroa (c) e raiz (r); amostra SBB14 (direita), observação da estrutura interna (pós corte) transição entre esmalte (e) e dentina (d).

Por fim, a Espectrometria de Massa Acoplado a Plasma Induzido com Ablação a Laser, permitiu verificar variações na distribuição de elementos-traço, nomeadamente de terras raras (La, Ce, Sm, Yb), (Fig. 2) e U, Ba (Fig. 3). As variações na distribuição destes elementos nos exemplares estudados, permitem verificar a existência de modificações diagenéticas em regiões diferentes dos dentes. Contudo, de uma forma geral, os exemplares parecem ter resistido às

alterações diagenéticas, tendo preservado a sua assinatura geoquímica original, na maior parte da sua extensão.

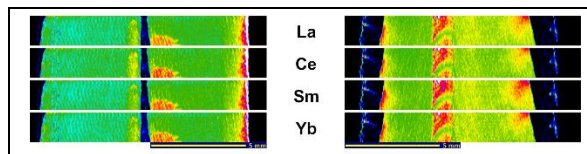


Fig. 2. Mapas de distribuição das terras raras na raiz da amostra SHN517 (esquerda) e na zona centra da amostra SHN139 (direita), com maior acumulação junto a canais de facilitação de disseminação destes elementos durante a diagênese.

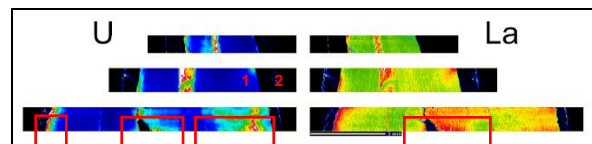


Fig. 3. Mapas de distribuição de U vs. La. Destacam-se os zonamentos preferenciais de alteração da dentina (1) e ausência no esmalte (2). Amostras SHN139 e SHN517 (esquerda e direita, respetivamente).

Estas observações permitiram constatar que o esmalte é a estrutura dos dentes que demonstra ser mais resistente a este tipo de alterações. Já na dentina verifica-se uma maior vulnerabilidade face às trocas elementares com os fluidos existentes nos sedimentos envolventes, devido à sua elevada porosidade. Desta forma, é seguro dizer-se, com os resultados obtidos, que o esmalte apresenta sectores com um nível de preservação passível de fornecer informações fiáveis quanto a paleoambientes e paleodietas que estes organismos vivenciaram ao longo da sua vida. Esta abordagem metodológica realizada numa etapa prévia, relativamente aos estudos isotópicos, garante uma precisão na análise do material não afetado pelas reações fluido-rocha pós-deposicionais.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Laboratório HERCULES pelo acesso aos recursos analíticos e à Sociedade de História Natural de Torres Vedras pela cedência dos exemplares estudados. Os autores agradecem ainda o apoio financeiro da FCT UIDB/04449/2020 e UIDP/04449/2020 do Laboratório HERCULES, UIDB/04683/2020 do ICT – Instituto de Ciências da Terra e UIDB/04292/2020 do MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente.

Referências

- Alves, T.M., Gawthorpe, R.L., Hunt, D.W. & Monteiro, J.H. (2002). Jurassic tectono-sedimentary evolution of the Northern Lusitanian Basin (offshore Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, 19(6), 727-754.
- Stephenson, M.S. (1985). The research method used in subfields and the growth of published literature in those subfields: Vertebrate paleontology and geochemistry. *Journal of the American Society for Information Science*, 36(2), 130-133.
- Kullberg, J.C., Rocha, R.B., Soares, A.F., Rey, J., Terrinha, P., Callapez, P. & Martins, L. (2006). A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J.C. Kullberg (Eds.). *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, Universidade de Évora, 317-368.
- Mocho, P., Ortega, F., Royo-Torres, R. & Silva, B. (2011). Estado do conhecimento sobre os dinossaúros saurópodes do Jurássico Superior de Portugal. I Congresso Nacional de Jovens Investigadores em Geociências, LEG, Estremoz, 85-87

Novas espécies fósseis e a paleobiodiversidade de Portugal: uma análise preliminar da *Portuguese Fossil Database*

New fossil species and paleobiodiversity of Portugal: a preliminary analysis of the “Portuguese Fossil Database”

R. da Silva (1,2), P. Fialho (3), B. Costa (3), S. Patrocínio (2,4), A. Burigo (2,4) e P. Andrade (2,4)

(1) Instituto de Ciências da Terra, Pólo de Évora, Évora, Portugal. roberto.silva@uevora.pt

(2) Universidade de Évora, Évora, Portugal.

(3) GeoBioTec, Monte da Caparica, Portugal.

(4) Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, Portugal.

Summary: The “Portuguese Fossil Database” is a project which aims to compensate for an existing gap in the availability and analysis of the Portuguese paleontological data as a whole. The present abstract shows the preliminary data related with taxonomic diversity, which was acquired after almost two years of work and the analysis of more than 500 peer-reviewed scientific publications. The reader will also find the general statistics about the data gathered so far in the scope of the project, as well as information about new species found in Portugal and the most frequent authorships related to these new taxa.

Key words: database, fossils of Portugal, revision, literature, fossil sites

Palavras-chave: base de dados, fósseis de Portugal, revisão, literatura, jazidas

Em 1849, D. Sharpe publicava o primeiro género nomeado com base num fóssil português, o *Tylostoma*. No entanto, o estudo da vasta diversidade de ocorrências fósseis em Portugal ter-se-á iniciado décadas antes, como demonstra a referência de Louis Bourguet (1742) sobre material fóssil descoberto no nosso território. Contando com mais de 250 anos de história, a Paleontologia portuguesa é marcada por dezenas de milhares de ocorrências fósseis um pouco por todo o país (continente e arquipélagos), identificadas e estudadas em centenas de publicações.

Fruto da proliferação nacional e internacional de estudos paleontológicos, a dispersão deste amplo espólio científico, que se desdobra em publicações, coleções e jazidas identificadas, tornou-se numa problemática para a comunidade científica, traduzindo-se no difícil acesso à informação publicada e sua análise como um todo. No entanto, o conceito das bases de dados *online* surge como uma possível solução.

O projeto em que o presente trabalho se insere, designado de *Portuguese Fossil Database*, procura resolver o problema da dispersão de informação sobre a diversidade fóssil portuguesa. Pretende-se não só compilar toda a informação sobre fósseis portugueses disponível em publicações científicas e/ou sujeitas a *peer-review*, mas também organizar, analisar e disponibilizar grandes volumes de dados para a comunidade científica e o público em geral. Os dados recolhidos são ainda sujeitos a harmonização,

recorrendo para isso a bases de dados internacionais (e.g. Mindat, GBIF, The Paleobiology Database, WoRMS, etc.).

Até ao momento, analisaram-se mais de 500 publicações científicas, correspondendo a um registo superior a 15000 ocorrências fósseis, das quais apenas 8000 têm coordenadas geográficas associadas (Fig. 1).

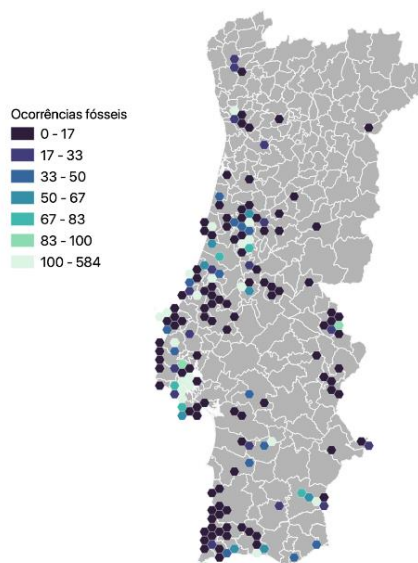


Fig. 1. Mapeamento das ocorrências fósseis registadas para Portugal continental, com base nas coordenadas geográficas disponibilizadas nas publicações originais e por aproximação.

As ocorrências fósseis determinam os registos individuais da presença de um *taxon* em estratos e/ou pontos geográficos distintos, não representando a quantidade de material encontrado.

Dos *taxa* registados até ao momento, destacamos, no presente trabalho, as espécies descritas primeiramente em Portugal (n. sp.). De referir que, o presente resumo não tem em conta a validade das designações taxonómicas, incluindo *taxa* atualmente válidos e não válidos.

A partir da análise bibliográfica, foi possível listar até ao momento 267 n. sp., constituindo-se como 7,9 % da totalidade de *taxa* identificados a partir de material fóssil português.

Por a pesquisa e análise bibliográficas não se focarem em publicações de um determinado *taxon* ou período temporal, o total de n. sp. identificadas regista uma grande diversidade, ao contrário do que sucede com a maioria dos trabalhos de revisão bibliográfica. São exemplos as publicações de Mateus et al. (2022), Fialho et al. (2021) e Rocha & Kullberg (2004) que, apesar de serem compêndios de informação taxonómica e bibliográfica relevantes para a Paleontologia nacional, por se focarem em grupos taxonómicos específicos, estes limitam a visão global da riqueza taxonómica descrita no país. Regista-se uma maior incidência de novas espécies no Reino Animalia (222), com um número mais elevado atribuído às classes Gastropoda (28) e Rhynchonellata (28). Nos *taxa* relacionados com o Reino Plantae (48), destacam-se as classes Magnoliopsida (13) e Pinopsida (7).

No entanto, a diversidade de nomes registados não se cinge apenas aos fósseis. Registamos ainda um elevado número de investigadores que, na qualidade de primeiro autor, descreveram novas espécies para a ciência a partir de material fóssil português.

Enumeramos por ordem decrescente os mais frequentes autores, com indicação do número de espécies descritas e um *taxon* exemplo:

[29] P. Choffat: *Vascoceras gamai* Choffat, 1898;

[24] S. Jonet: *Rhinobatus antunesi* Jonet, 1968;

[18] C. R. Groot: *Patellasporites tavadensis* Groot & Groot, 1962;

[14] M. T. Antunes: *Amphicyon olisiponensis* Antunes & Ginsburg, 1977 (Figura 2);

[12] B. Andrade: *Neozeilleria duartei* Andrade, 2006;

[12] E. M. Friis: *Miranthus elegans* Friis, Crane & Pedersen, 2021;

[9] C. Estravís: *Arcius zbyziewskii* Estravís, 2000;

[7] D. Sharpe: *Tylostoma globosum* Sharpe, 1849.

Uma vez que os resultados aqui apresentados são preliminares, refletindo a análise de cerca de 25% da bibliografia listada, é expectável que com o desenvolvimento do trabalho se verifique que a riqueza paleontológica portuguesa total seja superior.



Fig. 2. Ilustração científica da espécie *Amphicyon olisiponensis* Antunes & Ginsburg, 1977, por Pedro Andrade.

Referências:

- Bourguet, L. (1742). *Traité des pétrifications: avec figures*. A Paris: Chez Briasson: de l'imprimerie de Gissey. 465 pp.
- Fialho, P., Balbino, A. & Antunes, M.T. (2021). Fossil Chondrichthyes from the Neogene of Portugal: Diversity and Occurrence. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44, 43395.
- Mateus, O., Estraviz-López, D. & Mateus, S. (2022). Type specimens alone have a strong correlation with taxa record by geological epoch: the case study of the fossil vertebrates named from Portuguese types. *Comunicações Geológicas*, 109(1), 57-64.
- Rocha, R.E.B.D. & Kullberg, J.C.R. (2004). A Geologia na Toponímia e na História da Cidade de Lisboa. In: IV Jornadas de Toponímia de Lisboa. Câmara Municipal de Lisboa, 29-50.
- Sharpe, D. (1849). On *Tylostoma* a proposed genus of gasteropodous mollusks. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 5(1-2), 376-380.

Paleontologia de conodontes em Portugal: estado da arte

Portuguese Conodont Paleontology: state of the art

G. Silvério (1), G. Machado (2, 3), J. I. Valenzuela-Ríos (4), N. Moreira (5) e S. Pereira (6)

(1) Instituto de Investigação e Formação Avançada, Universidade de Évora, Palácio do Vimioso, Largo Marquês de Marialva, Apart. 94, 7002-554, Évora, Portugal, gsilverio@uevora.pt

(2) Chronosurveys, Av. 25 Abril, nº7, 17º dto., 2800-300, Almada, Portugal

(3) Instituto Dom Luiz, University of Lisbon, Campo Grande C6, 1749-016, Lisboa, Portugal

(4) Departamento de Botánica y Geología, Universidad de Valencia, C/Dr. Moliner 50, E-46100 Burjassot, Espanha

(5) Instituto de Investigação e Formação Avançada, Universidade de Évora, Palácio do Vimioso, Largo Marquês de Marialva, Apart. 94, 7002-554, Évora, Portugal

(6) Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal

Summary: A summary of the Portuguese conodont research is presented herein. A total of 18 publications were found to have descriptions or references to Portuguese conodonts, starting with the work of Boogaard (1963). The discoveries were made in calcareous units from the Central Iberian Zone (Buçaco Syncline, Moncorvo Syncline), Ossa-Morena Zone (Cabrela Basin, Odivelas Limestone, Ferrarias Anticline, Ficalho-Moura Anticline) and South Portuguese Terrane (Phyllite-Quartzite Group), ranging from the Late Ordovician to the early Carboniferous. A total of 189 taxa were identified, belonging to 44 different genera, although only 126 are based on P or coniform elements. The most common genera are *Polygnathus*, *Palmatolepis*, *Spathognathodus*, and *Icriodus*. The systematic revision of this material is yet to be done.

Key words: conodonts, Devonian, Ossa-Morena Zone, South Portuguese Terrane, limestones

Palavras-chave: conodontes, Devónico, Zona de Ossa-Morena, Terreno Sul Português, calcários

O trabalho de Marinus van den Boogaard (1963) marca o início dos estudos paleontológicos de conodontes em Portugal, enfocando associações de calcários do Devónico Superior-Mississípico do Pomarão e Carvoeiro (Mértola). Desde então, Boogaard e outros autores desenvolveram trabalho, intermitentemente, nas várias unidades tectonostratigráficas presentes no país, tendo identificado 189 taxa, baseados tanto em elementos do tipo P e coniformes (úteis para identificação e biostratigrafia), como do tipo S (espécies atualmente inválidas, sendo estes elementos inseridos dentro dos aparelhos conodontais das espécies identificadas com base nos elementos do tipo P). O intuito destes estudos tem sido biostratigráfico e os esforços têm-se concentrado nas unidades carbonatadas, uma vez que o uso de ácido acético/fórmico permite a fácil obtenção dos fósseis de conodontes (fosfáticos).

O registo português de conodontes abarca desde o Ordovícico Superior ao Carbónico inferior, nas seguintes unidades tectonostratigráficas:

- Zona Centro Ibérica (ZCI): São Miguel de Poiares, Ordovícico Superior (Sarmiento et al., 2001); Torre de Moncorvo, Silúrico (Sarmiento et al., 1999);

- Zona de Ossa-Morena (ZOM): Silveiras, Devónico Médio-Superior (Boogaard, 1972, 1983; Silvério et al.,

2019); Odivelas, Devónico Inferior-Médio (Conde & Andrade, 1974; Machado et al., 2010, 2020); Monte do Cubo (Ferrarias), Silúrico-Devónico Inferior (Sarmiento et al. 2000); Vila Verde de Ficalho, Silúrico-Devónico Inferior (Piçarra & Sarmiento, 2006);

- Terreno Sul Português (TSP): Pomarão, Devónico Superior (Boogaard, 1963); Carvoeiro, Mississípico (Boogaard, 1963; Delcey, 1970); Monte do Pardieiro (Delcey, 1970); Mértola, Devónico Superior (Fantinet et al., 1976); Monte do Forno da Cal, Devónico Superior (Boogaard & Schermerhorn, 1983).

Desta lista de ocorrências ressalta a sobre representação dessas no Devónico, face às carbónicas e ordovícico-silúricas, estudadas apenas por Boogaard e Sarmiento, respetivamente. A ocorrência de conodontes nas unidades do Triásico das bacias mesozoicas portuguesas não foi, até à data, reconhecida.

Nos últimos anos, os autores têm vindo a desenvolver trabalhos de revisão e prospeção de ocorrências de conodontes na ZCI e na ZOM, juntando uma perspetiva paleoambiental e paleogeográfica à biostratigráfica. Os fatores que mais têm dificultado a obtenção de dados são: a recristalização e a dolomitização secundária de grande parte dos calcários paleozoicos portugueses, que dificultam a

sua dissolução em ácido; a elevada quantidade de resíduo de dissolução, uma vez que estes calcários são muito impuros, tardando o processo de triagem à

lupa (resíduo triado a 100%); e o alto grau de deformação em algumas regiões, que oblitera os fósseis.

Agradecimentos: Este trabalho é financiado pela FCT, no âmbito do ICT (UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020) e do CGEO (UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020). O trabalho representa uma contribuição para o projeto IGCP-652 (UNESCO) e o projeto PALPALPAL (GIUV2017-395). G.S. é financiado pela FCT (2020.08450.BD).

Referências

- Boogaard, M. van den (1963). Conodonts of Upper Devonian and Lower Carboniferous age from southern Portugal. *Geologie en Mijnbouw*, 42, 248-259.
- Boogaard, M. van den (1972). Conodont faunas from Portugal and southwestern Spain. Part 1. A Middle Devonian fauna from near Montemor-o-Novo. *Scripta Geologica*, 13, 1-11.
- Boogaard, M. van den (1983). Conodont faunas from Portugal and southwestern Spain. Part 7. A Frasnian conodont fauna near the Estação de Cabrela (Portugal). *Scripta Geologica*, 69, 1-17.
- Boogaard, M. van den & Schermerhorn, L.G. (1983). Conodont faunas from Portugal and southwestern Spain. Part 6. A Lower Famennian conodont fauna at Monte do Forno da Cal (South Portugal). *Scripta Geologica*, 63, 1-16.
- Conde, L.N. & Andrade, A.S. (1974). Sur la faune meso et/ou neodevonienne des calcaires du Monte das Cortes, Odivelas (Massif de Beja). *Memórias e Notícias, Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra*, 78, 141-145.
- Delcey, R. (1970). Notes sur la stratigraphie et le volcanisme de la province pyrito-cuprifère du Baixo-Alentejo (Portugal). *Estudos, Notas e Trabalhos do S. F. M.*, 19(3-4), 199-225.
- Fantinet, D., Dreesen, R., Duser, M. & Termier, G. (1976). Faunes famenniennes de certains horizons calcaires dans la formation quartzitophylladique aux environs de Mértola (Portugal meridional). *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 60, 121-137.
- Machado, G., Hladil, J., Slavík, L., Koptíková, L., Moreira, N., Fonseca, M. & Fonseca, P. (2010). An Emsian-Eifelian calciturbidite sequence and the possible correlatable pattern of the basal Chotec Event in western Ossa-Morena Zone, Portugal (Odivelas Limestone). *Geologica Belgica*, 13(4), 425-440.
- Machado, G., Slavík, L., Moreira, N. & Fonseca, P.E. (2020). Prasinophyte bloom and putative fungi abundance near the Kačák event (Middle Devonian) from the Odivelas Limestone, Southwest Iberia. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 100, 593-603.
- Piçarra, J.M. & Sarmiento, G. (2006). Problemas de posicionamento estratigráfico dos Calcários Paleozóicos da Zona de Ossa Morena (Portugal). Livro de resumos do VII Congresso Nacional de Geologia, 657-660.
- Sarmiento, G., Moral, B. & Piçarra, J.M. (2001). Conodontos del Ordovícico Superior (Ashgill) en la Serra do Buçaco, Portugal. *Coloquios de Paleontología*, 52, 95-105.
- Sarmiento, G., Piçarra, J.M. & Oliveira, J.T. (2000). Conodontes do Silúrico (superior?)-Devónico nos "Mármore de Estremoz", sector de Estremoz-Barrancos (Zona de Ossa-Morena, Portugal). Implicações estratigráficas e estruturais a nível regional. Livro de resumos do 1º Congresso Ibérico de Paleontologia, 284-285.
- Sarmiento, G., Piçarra, J.M., Rebelo, J.A., Robardet, M., Gutiérrez-Marco, J.C., Storch, P. & Rábano, I. (1999). Le Silurien du synclinorium de Moncorvo (NE du Portugal): biostratigraphie et importance paléogéographique. *GEOBIOS*, 32(5), 749-767.
- Silvério, G., Valenzuela-Ríos, J.I., Liao, J.-C., Machado, G., Moreira, N., Jorge, J., Ramos, M., Esteves, C., Theias, A. & Cachão, M. (2019). Conodonts from the "Pedreira da Engenharia" Formation, western Ossa-Morena Zone: new biostratigraphic data. *Zubia*, 31, 257-262.

Quitinozoários da Camada Vale das Laranjeiras, Formação Brejo Fundeiro, Sinclinal Amêndoa Mação (Ordovícico Médio, Portugal)

Chitinozoans of Vale das Laranjeiras Bed, Brejo Fundeiro Formation, Amêndoa Mação Syncline (Middle Ordovician, Portugal)

N. Vaz (1)

(1) Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), Departamento de Geologia, Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real; CGeo - Centro de Geociências da Universidade de Coimbra; nunovaz@utad.pt;

Summary: *Vale de Laranjeiras Bed is a single stratum lithologically distinct from other layers above and below and is characterized by the presence of oolitic iron, phosphates, fossils, siltstones and mudstones. This unit is part of Brejo Fundeiro Formation (Middle Ordovician, Portugal) and was divided, in the Amêndoa-Mação Syncline, in three units: Vale das Vacas Member, Vale das Laranjeiras Bed and Fonte da Amêndoa Member. The present research shows the biostratigraphic results with chitinozoans obtained for the Vale de Laranjeiras Bed. These associations provided moderately preserved chitinozoans, assigned to Calix Biozone, which allowed dating the unit of lower to middle Darriwilian (Lower Oretanian).*

Key words: *Chitinozoans, Vale das Laranjeiras Bed, Brejo Fundeiro Formation, Ordovician, Amêndoa-Mação Syncline*

Palavras-chave: Quitinozoários, Camada Vale das Laranjeiras, Formação Brejo Fundeiro, Ordovícico, Sinclinal Amêndoa-Mação

A Formação Brejo Fundeiro (Cooper, 1980) foi dividida, no Sinclinal Amêndoa-Mação, em três membros por Romão (2000): Vale das Vacas, Vale das Laranjeiras e Fonte da Amêndoa. A unidade intermédia foi renomeada como “Camada”, mantendo o nome e diminuindo-lhe a categoria (Vaz, 2014), por ser um simples estrato distinto e distinguível do material infrajacente e suprajacente. De acordo com o Guia Estratigráfico Internacional, apenas os estratos com propriedades de níveis-guia ou horizonte-guia, com utilidade estratigráfica precisa, recebem um nome específico e são consideradas unidades litoestratigráficas formais.

Esta unidade pode ser observada no caminho florestal que parte da EN 244, na proximidade do lugar de Lameiras, povoação Cimo do Vale, em direção à povoação de Pé da Serra, o que permite enquadrá-la na sequência geral da Formação Brejo Fundeiro. Nesse local, observa-se um nível com um 1 m de espessura, caracterizado pela presença de oólitos de ferro, fosfatos, fósseis, pelitos negros e siltitos. Corresponde a uma fácies complexa, com restos fósseis ressedimentados, fosfatos e oólitos de ferro. Este conjunto de elementos dificulta a caracterização ambiental. Os oólitos de ferro, são comumente atribuídos a grandes alterações ambientais, com possível exposição ao ar, do tipo *hardground*, típicas de alteração de fácies detrítica fina (argilitos/siltitos) de ambiente distal para fácies

detrítica mais grosseira (arenitos) de ambiente proximal, como acontece por exemplo na Camada Favaçal (Young, 1988) e Camada Chôsavelha (Sá, 2005) de idade Berouniano inferior.

A Camada Vale das Laranjeiras, pelo contrário, apresenta inferiormente e superiormente sedimentos finos característicos de ambiente distal, sem marcadas lacunas sedimentares. Desta forma, esta camada não deverá representar uma mudança ambiental (distal/proximal) mas deverá corresponder a uma superfície de máxima inundação (Young, 1992).

Neste caso, os oólitos devem ter resultado da circulação, no fundo, de núcleos de acreção onde se foram sobrepondo camadas concêntricas de silicatos de ferro. Os outros elementos presentes nesta unidade deverão ser de materiais arrastados e retrabalhados pela corrente de fundo.

O presente trabalho apresenta os resultados biostratigráficos, com quitinozoários, obtidos em amostras da Camada Vale das Laranjeiras, as quais forneceram associações de quitinozoários, moderadamente preservados. Na figura 1 apresentam-se alguns dos taxa recuperados e estratigraficamente importantes. Foi identificada uma espécie diagnóstica, *Cyathochitina calix* (Eisenack 1931). Foram, também, recuperados espécimes atribuídos a outras espécies, nomeadamente:

Cyathochitina campanulaeformis (Eisenack 1931), *Desmochitina minor* Eisenack 1931, *Euconochitina vulgaris* (Jenkins 1967), *Lagenochitina* sp. e *Conochitina* sp.

A identificação da espécie *Cyathochitina calix* (Eisenack 1931) possibilitou a definição duma biozona de quitinozoários, o que permitiu atribuir esta unidade ao Darriwiliano inferior a médio (Oretaniano Inferior).

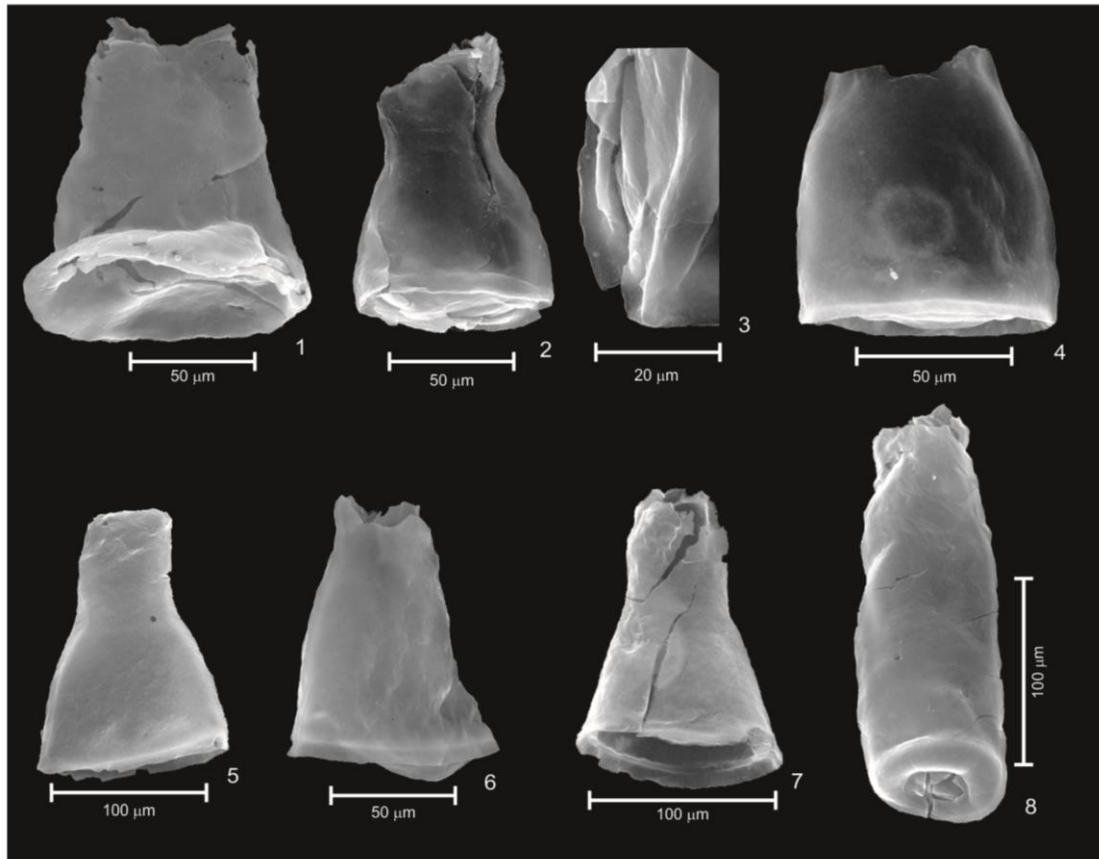


Fig. 1. 1 - *Euconochitina vulgaris* (Jenkins 1967), UTAD_CVL1; 2 e 4 - *Cyathochitina calix* (Eisenack 1931), UTAD_CVL1; 3 - Detalhe da base do espécime 2; 5-7 - *Cyathochitina campanulaeformis* (Eisenack 1931), UTAD_CVL2; 8 - *Conochitina* sp., UTAD_CVL2 (Todas as amostras, resíduos e preparações encontram-se depositadas no Departamento de Geologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, referências UTAD_CVL1 e UTAD_CVL2).

Referências

- Cooper, A.H. (1980). The stratigraphy and palaeontology of the Ordovician to Devonian rocks of the area north of Dornes (near Figueiró dos Vinhos), Central Portugal. Ph.D. Thesis, Department of Geology, University of Sheffield (unpublished), 225p.
- Eisenack, A. (1931). Neue Mikrofossilien des baltischen Silurs 1. *Palaeontologische Zeitschrift*, 13, 74-118.
- Jenkins, W.M. (1967). Ordovician Chitinozoa from Shropshire. *Palaeontology*, 10, 436-488.
- Romão, J.M.C. (2000). Estudo Tectono-Estratigráfico de um segmento do bordo SW da Zona Centro-Ibérica, e as suas relações com a Zona de Ossa-Morena. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa (não publ.), 323 p.
- Sá, A.A. (2005). Bioestratigrafia do Ordovícico do Nordeste de Portugal. Tese de Doutoramento. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (não publ.), 571p.
- Vaz, N. (2014). Quitinozoários da Formação Brejo Fundeiro, Sinclinal Amêndoa Mação (Ordovícico Médio, Portugal). *Comunicações Geológicas* (2014) 101, Especial I, 577-580.
- Young, T.P. (1988). The lithostratigraphy of the Upper Ordovician of Central Portugal. *Journal of the Geological Society*, 145, 377-392.
- Young, T.P. (1992). Ooidal ironstone from Ordovician Gondwana: a review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 99, 321-347.

New palynostratigraphical data of the Silves Group, Algarve Basin

Novos dados palinostratigráficos do Grupo de Silves, Bacia do Algarve

M. Vilas-Boas (1*), P. Fernandes (1), Z. Pereira (2) and S. Cirilli (3)

(1) CIMA, Centre of Marine and Environmental Research\ARNET - Infrastructure Network in Aquatic Research, University of Algarve, Campus de Gambelas, 8000-139 Faro, Portugal. *margarida.vboas@gmail.com

(2) Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Rua da Amieira, S. Mamede de Infesta, 4465-965 Porto, Portugal

(3) Dipartimento di Fisica e Geologia, Università degli Studi di Perugia, 06123 Perugia, Italy

Sumário: Este trabalho mostra dados palinostratigráficos que permitem aperfeiçoar a idade do Grupo de Silves na Bacia do Algarve. O Grupo de Silves constitui a unidade sedimentar mais antiga desta bacia e foi depositado de forma discordante sobre os turbiditos do Carbonífero superior da Formação Brejeira, dobrados e falhados durante a Orogenia Varisca. Os novos dados obtidos, permitem-nos apontar o início da sedimentação na Bacia do Algarve ao Carniano inferior e datar de idade Carniano todo o pacote sedimentar correspondente aos “Arenitos de Silves”. As camadas da base do “Complexo Margo-Carbonatado de Silves” correspondem ao Carniano superior, e os evaporitos possuem idade compreendida entre o Retiano superior e a base do Hetangiano, representando assim o limite entre o Triássico e o Jurássico, na bacia.

Palavras-chave: Grupo de Silves, Triássico-Jurássico, Esporos e pólenes, Palinostratigrafia, Bacia do Algarve

Key words: Silves Group, Triassic-Jurassic, spores and pollen, Palynostratigraphy, Algarve Basin

The Algarve Basin, located in the South of Portugal, is a Mesozoic sedimentary basin related to the breakup of Pangaea and the following extensional tectonic episodes that led to the opening of the North Atlantic Ocean. The sedimentation in the Algarve Basin began with detrital continental red beds that unconformably overlie Carboniferous turbidites, deformed and metamorphosed during the Variscan Orogeny (Palain, 1976; Terrinha *et al.*, 2013). The Grés de Silves Group is composed of sedimentary rocks whose depositional settings evolved from continental sedimentary environments, essentially fluvial, to shallow marine environments (Terrinha *et al.*, 2006). This group includes, from base to top, the “Silves Sandstones”, the “Silves Marl-Carbonated Evaporitic Complex” and the “Volcano-Sedimentary Series”.

The Grés de Silves Group's fossil content is poor and constrains its age determination. A Late Triassic age was assigned to the “Silves Sandstones”, based on the existence of branchiopod valves (*Eustheria* sp.), vertebrate remains *Phytosauria* (Mateus *et al.*, 2014) and *Metoposaurus* (Brusatte *et al.*, 2015). Based on geochronology, an Early Jurassic age (198.1 ± 0.4 Ma) dated a basalt flow at the top sequence of the “Volcano-Sedimentary Series”.

The present research aims to improve the ages of the Upper Triassic - Lower Jurassic stratigraphic record of the Grés de Silves Group in the Algarve Basin using palynology. For this, 250 samples were collected from 14 main sections. These sections were investigated to establish the detailed palynostratigraphic age and the depositional environmental settings based on a

qualitative and quantitative detailed study and the identification of key palynomorph taxa. Hereafter is a summary of the results attained.

In a roadcut along the CM1054 road, North of Portimão, palynomorphs were recovered from a 3 m thick layer located 2.5 m above the Variscan unconformity. The assemblage obtained shows moderate preservation and low diversity, allowing the identification of the following taxa: *Alisporites* sp., *Aulisporites astigmaticus*, *Enzonalaspores vigeni*, *Ovalipollis pseudoalatus*, *Samaropollenites speciosus*, *Tulesporites briscoensis*, and *Vallasporites ignacii* assigned to the early Carnian (Vilas-Boas *et al.*, 2022). This data indicates that sedimentation in the Algarve Basin began at the early Carnian (earliest Late Triassic).

In Vale Fuzeiros, near São Bartolomeu de Messines, a section representing the top layers of the “Silves Sandstones” was sampled. The mudstones yielded a low diversity and poorly preserved sporomorph assemblage. However, *Paracirculina quadruplicis*, *Patinasporites densus*, *Playfordiaspora* sp., *Samaropollenites speciosus*, *Triadispora* sp., *Vallasporites ignacii*, and *Verrucosisporites* sp., indicate a late Carnian age for the top limit of the “Silves Sandstones”.

The “Marl-Carbonate Evaporitic Complex” was studied along the northern cliffs of Amado Beach, Aljezur. Samples from the mudstone layers recovered a diverse and moderately well-preserved palynological assemblage. That assemblage includes the sporomorph taxa *Alisporites* sp., *Camerosporites*

secatus, *Enzonalaspores vicens*, *Lagenella martinii*, *Microcachrydites* sp., *Paracirculina quadruplicis*, *Playfordiaspora* sp., *Samaropollenites speciosus*, *Patinaspores densus*, *Vallasporites ignacii*, *Triadispora* sp., and *Verrucosisporites* sp.. Several taxa of algae complete the assemblage, such as *Botryococcus* sp., *Plaesiodyctyon mosellaneum* ssp. *variable*, *P. mosellaneum* ssp. *bullatum*, *Plaesiodyctyon* sp. (coenobial chlorophycean alga), Algae sp. A, and *Leiosphaeridia* sp. (prasinophycean alga). Sporomorphs indicate a late Carnian age for this section. Algae occurrence indicates lacustrine depositional environments, which are tentatively related to a short period of increased humidity during late Carnian times, during long-term paleoclimatic conditions characterised by aridity.

The evaporites at the top of the “Marl-Carbonate Evaporitic Complex” succession were sampled in the Loulé Salt Mine and the Albufeira diapir. In the Loulé Salt Mine two mudstone beds ca. 1 meter thick intercalated within the evaporites were sampled, and a diverse to moderately preserved palynological assemblage was recovered. The sporomorph taxa identified include the pollen *Alisporites* sp., *Araucariacites australis*, *Cerebropollenites macroverrucosus*, *Cerebropollenites* sp., *Classopollis*

meyerianus, *Classopollis torosus*, *Cycadopites* sp., *Perinopollenites elatoides*, *Playfordiaspora* sp., *Triadispora* sp., and the spores assigned to the species *Anapiculatisporis* sp., *Calamospora mesozoica*, *Calamospora tener*, *Deltoidospora* sp., *Kraeuselisporites reissingeri*, *Kraeuselisporites* sp., *Kyrtomispores* sp., *Leptolepidites* sp., and *Porcellispora longdonensis*. In addition to these sporomorphs, prasinophycean algae, *Leiosphaeridia* sp., and reworked algae were also identified.

The palynological content of the Albufeira diapir includes *Araucariacites australis* and *Classopollis* spp. The data obtained from the Loulé Salt Mine and Albufeira diapir allows assigning the evaporite deposits to the uppermost Rhaetian - lowermost Hettangian. The recovered assemblages indicate the dominance of warm-climate flora living at the margins of the evaporitic basin.

The present study allows us to constrain, for the first time, the age of the Grés de Silves Group, in the Algarve Basin, to the early Carnian-early Hettangian (Triassic-Jurassic boundary) interval based on palynostratigraphy. Moreover, it contributes to the knowledge of the Iberian palynoflora, paleoenvironment and paleoclimate evolution.

Acknowledgements: Margarida Vilas-Boas is a PhD student at the University of Algarve, with a scholarship awarded by the Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) with the reference SFRH/BD/144125/2019. The authors would like to acknowledge the financial support of FCT to the projects: LA/P/0069/2020, awarded to the Associate Laboratory ARNET; UID/00350/2020, awarded to CIMA of the University of the Algarve. We want to thank Alexandre Andrade for all the support and availability during the visits to the Rocksalt Mine in Loulé.

References

- Brusatte, S.L., Butler, R.J., Mateus, O. & Steyer, J.S. (2015). A new species of *Metoposaurus* from the Late Triassic of Portugal and comments on the systematics and biogeography of metoposaurid temnospondyls. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 35(3), e912988.
- Mateus, O., Butler, R.J., Brusatte, S.L., Whiteside, J. & Steyer, J.S. (2014). The first phytosaur (Diapsida, Archosauriformes) from the Late Triassic of the Iberian Peninsula. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 34(4), 970–975.
- Palain, C. (1976). Une série détritique terrigène les "Grès de Silves": Trias et Lias inférieur du Portugal. *Memórias Serviços Geológicos Portugal*, n.s., 25, 1-377.
- Terrinha, P., Rocha, R.B., Rey, J., Cachão, M., Moura, D., Roque, C., Martins, L., Valadares, V., Cabral, J., Azevedo, M.R., Barbero, L., Clavijo, E., Dias, R.P., Matias, H., Madeira, J., Silva, C.M., Munhá, J., Rebelo, L., Ribeiro, C., Noiva, J., Youbi, N. & Bensalah, M.K. (2013). *A Bacia do Algarve: Estratigrafia, paleogeografia e tectónica. Geologia De Portugal, Geologia Meso-Cenozóica De Portugal*, vol. 2, 29-166.
- Vilas-Boas, M., Paterson, N.W., Pereira, Z., Fernandes, P. & Cirilli, S. (2022). The age of the first pulse of continental rifting associated with the breakup of Pangea in Southwest Iberia: new palynological evidence. *Journal of Iberian Geology*, 48(2), 181-190.

Historical collection of Sinemurian (Lower Jurassic) gastropods from the Portuguese “Comissões Geológicas”

Coleção histórica de gastrópodes sinemurianos (Jurássico Inferior) das “Comissões Geológicas” de Portugal

Í. Vitón (1) and M.J. Comas-Rengifo (1)

Department of Geodynamics, Stratigraphy and Palaeontology, Geological Science Faculty, Complutense University of Madrid. 12 José Antonio Novais Street, 28040, Madrid, Spain. iviton@ucm.es

Sumário: O trabalho paleontológico das Comissões Geológicas forneceu uma coleção de gastrópodes sinemurianos de 395 espécimes, embora o número original devesse ter sido maior, uma vez que alguns espécimes se perderam em incêndios ou realocações. Esta coleção fornece informações paleontológicas e estratigráficas importantes, e permite o estudo de material fóssil a partir de afloramentos já não acessíveis. São identificados 13 taxa: cinco a nível de género e oito a nível de espécie, sendo um complemento essencial para o trabalho de campo da investigação recente. A preservação adequada das coleções dos museus é um dever para que as gerações futuras possam continuar a ter à sua disposição esta valiosa informação.

Palavras-chave: História da ciência, Gastropoda, Portugal, museu, taxonomia

Key words: History of science, Gastropoda, Portugal, museum, taxonomy

The palaeontological collections are an important source of information for taxonomy, stratigraphy and geography. Some outcrops are no longer accessible, and its palaeontological material is only available in museum collections. Therefore, they are valuable not only for the types and figured material, but even for the unpublished material. Four museums were visited for the study of the Sinemurian (Lower Jurassic) gastropods from the Lusitanian Basin: *Museu Geológico*, *Museu Nacional de História Natural e da Ciência – Universidade de Lisboa* (MUHNAC), *Museu da Ciência da Universidade de Coimbra* (MCUC), and *Museu de História Natural e da Ciência da Universidade do Porto* (MHNC-UP). In total, 290 specimens have been considered for this research. Most of them are from the *Museu Geológico* which keeps 198 specimens (68.28 %). MCUC conserves 85 specimens (29.31 %), MUHNAC houses five specimens (1.72 %) and MHNC-UP, two (0.69 %) (Fig. 1). This fossil material was mainly collected in 1887 and in 1903, according to the labels (Fig. 2). Therefore, we can assume that it was collected by Paul Choffat (1849-1919) and his team of the Geological Commission.

The first significant palaeontological research in Portugal was developed by James Sowerby in 1816. Although previously, in the second half of the XVIII century, Domenico Vandelli developed some works in Natural Sciences (Almeida & Carvalhosa, 1974). However, it was the “*Comissões Geológicas*”, founded in 1848, which was a boost for the palaeontology and the geology in Portugal doing a valuable scientific

work through different intervals along XIX and XX centuries.

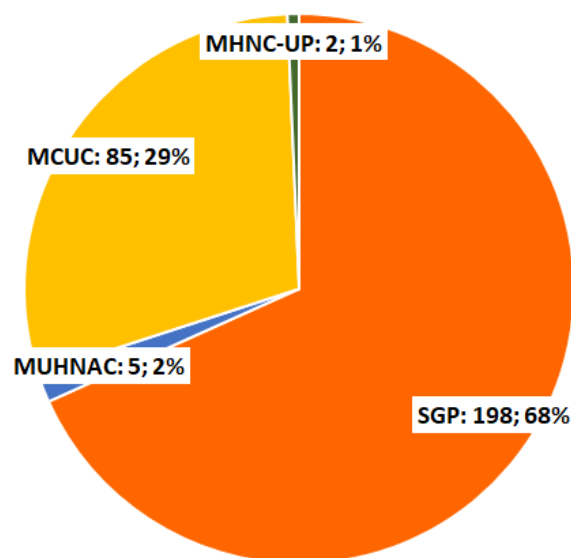


Fig. 1. Distribution of the Sinemurian gastropods specimens found in the different collections. Abbreviations, SGP: *Museu Geológico* (Lisbon); MUHNAC: *Museu Nacional de História Natural e da Ciência* (Lisbon); MCUC: *Museu da Ciência da Universidade de Coimbra* (Coimbra); MHNC-UP: *Museu de História Natural e da Ciência da Universidade do Porto* (Porto).

The Commission started to work in 1849, becoming one of the oldest Geological Services in Europe (Almeida & Carvalhosa, 1974). The period considered as the most fruitful was between 1857 and 1912, with numerous articles published and two editions of geological maps of Portugal (1876 and 1899). It is in this period, after 1879, when Paul Choffat, a swiss stratigrapher and palaeontologist, worked in the

Commission. He took part in the *Secção dos Trabalhos Geológicos* (1883-1886) and latter in *Comissão dos Serviços Geológicos*. Together with Carlos Ribeiro and Nery Delgado, he made part of one of the most productive periods in Portuguese geology.

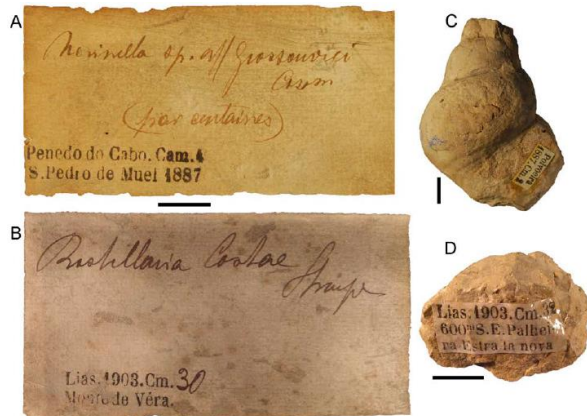


Fig. 2. Choffat's original labels at Museu Geológico (Lisbon). A, B. Handwritten labels by Choffat showing taxonomic, stratigraphic and geographic information. C, D. Labels glued to the specimens, showing stratigraphic and geographic information. Scale bar: 10 mm. (Specimens MG31715, *Rostellaria costae*, and MG31837, *Gastropoda* indet.). Photos: R. Paredes.

The Sinemurian gastropod collection was kept originally on the second floor of the former *Convento da Ordem de Jesus* (Lisbon), where the *Museu Geológico* and the *Academia Real das Ciências de Lisboa* were established, and where they remain. Some of the materials are currently kept in the other mentioned institutions as there was a rule since 1870 which order to send duplicates to the institutions that have bachelor courses with Geology (Brandão, 2010).

The geographical origin of the fossil material can be divided mainly in two areas, coast (S. Pedro de Moel)

and inland (Coimbra and the surrounding area), a distinction that Choffat himself considered "particularly instructive" (Choffat, 1903). Three specimens are from Peniche. The gastropods specimens from S. Pedro de Moel were collected in 1887, and those from Coimbra area in 1903 (Vitón et al., 2020a). That same year, Choffat published the study of the Infralias and the Sinemurian, where he used certain gastropod species to define some lower and middle Sinemurian layers, namely *Boehmia exilis* (Böhm) zone and *Rostellaria costae* and *Nerinella* strata.

In the taxonomical study of the gastropod collection, 13 taxa were identified: five at genus level and eight at species level. The importance of the museum collection for taxonomy studies is highlighted in the fact that after a fieldwork to complement the research, some gastropod species were not found, and they have been described only thanks to their presence in the *Museu Geológico* collection: *Scurriopsis* (*Scurriopsis*) *schmidti* (Dunker) and *Cryptaenia* sp. (Vitón et al., 2020b).

The most common species are endemic of the Lusitanian Basin, such as *Pseudomelania costae* (Sharpe), *Oonia casta* Böhm and *Nerinella ficalhoi* Choffat. This latter species is very characteristic of the Obtusum Zone (Vitón et al., 2020b). *Boehmiola exilis* is not very frequent, but it has a stratigraphic importance, as previously said.

The study of the Sinemurian gastropods of the Lusitanian Basin would not be completed if it did not consider the fossil material kept in museums. Their appropriate preservation and availability for scientific research is essential for the progress of science.

Acknowledgements: We wish to thank L.V. Duarte for the Portuguese review of the abstract. The present communication is a contribution to the UCM group 910431 "Procesos Bióticos Mesozoicos".

References

- Almeida, F.M. & Carvalhosa, A.B. (1974). Breve história dos Serviços Geológicos em Portugal. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, 68, 239-265.
- Brandão, J.M. (2010). Um aspecto particular do apoio dos Serviços Geológicos Portugueses ao ensino secundário das Geociências: Oferta de colecções didácticas. In: J.M. Brandão, et al. (eds). *Colecções e museus de Geologia: missão e gestão*. MMGUC and CEHFCi, 343-350.
- Choffat, P. 1903. L'Infralias et le Sinémurien du Portugal. *Comun. Com. Ser. Geol. Portugal*, 5, 49-114.
- Vitón Í., Comas-Rengifo, M.J. & Paredes, R. (2020a). The Sinemurian (Lower Jurassic) gastropod collection from the "Comissões Geológicas" of Portugal. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Secc. Aula, Mus. Colecciones)*, 7, 63-76.
- Vitón Í., Comas-Rengifo, M.J. & Paredes, R. (2020b). Early Jurassic (Sinemurian) gastropods from the Lusitanian Basin (west of Portugal). *Spanish J. Palaeont.*, 35(2), 147-166. <https://doi.org/10.7203/sjp.35.2.18478>.

Ammonoid succession and correlation of the Oxynotum Zone (upper Sinemurian, Lower Jurassic) in the Lusitanian Basin

Sucessão de amonoides e correlação da Zona Oxynotum (Sinemuriano superior, Jurássico Inferior) na Bacia Lusitânica

Í. Vitón (1), M. J. Comas-Rengifo (1), L. V. Duarte (2) and A. Goy (1)

(1) Department of Geodynamics, Stratigraphy and Palaeontology, Geological Science Faculty, Complutense University of Madrid, Spain. iviton@ucm.es

(2) Universidade de Coimbra, MARE-ARNET and Departamento de Ciências da Terra, Portugal

Sumário: É apresentada a sucessão de amonoides da Zona Oxynotum (Sinemuriano superior, Jurássico Inferior) na Bacia Lusitânica, estudada na secção de referência de São Pedro de Moel, a partir da recolha de 169 espécimes. As espécies identificadas permitem estabelecer uma correlação com os horizontes de referência da Província Noroeste Europeia. A Zona Oxynotum é subdividida em duas subzonas. A base da Subzona Simpsoni é estabelecida a partir da primeira ocorrência de *Gagaticeras gagateum*, e a base da Subzona Oxynotum através do primeiro registo de *Oxynoticeras oxynotum*. A base da Zona *Raricostatium* é definida a partir da associação *Oxynoticeras lymense* e *Cruciloboceras densinodulum*. Entre outras evidências, realça-se a nova espécie, *Plesechioceras rochai*, descrita na parte superior da Zona Oxynotum e discutem-se relações micro-macroconcha entre *Cheltonia* e *Oxynoticeras*.

Palavras-chave: amonite, biocronostratigrafia, Paleontologia, sistematização, Portugal

Key words: ammonite, biochronostratigraphy, Palaeontology, systematics, Portugal

The objective of this work is to show the ammonite succession of one of the most continuous sections of the Sinemurian in the Lusitanian Basin. The section is located near São de Moel, at West of Marinha Grande, in the Polvoeira (PO) – Pedra do Ouro (OU) beaches. The PO-OU section involves the uppermost part of the Coimbra Formation (Fm) and the great part of the Polvoeira Member (Mb) of the Água de Madeiros Fm (Duarte et al., 2014). The presence of ammonites is rare in the Coimbra Fm, because of its shallow-water facies and the reduced exposure of sediments of its upper part (Duarte et al., 2022). In the Polvoeira Mb, a bigger number of ammonite specimens can be found.

A total of 169 ammonite specimens from PO-OU section have been studied. The ammonoid succession (Fig. 1) from the uppermost part of the Obtusum Zone (Denotatus Subzone) to lowermost part of the Raricostatium Zone (Densinodulum Subzone) is composed by species of three families. The most common is Oxynoticeratidae, represented by seven species and 125 specimens. Eoderoceratidae is recorded by 27 specimens of two species, and 17 specimens belong to two species of Echioceratidae. Most of these specimens are preserved in lateral view, being rarely visible the ventral view, because of the diagenetic compaction.

The first appearance of *Gagaticeras gagateum* (Young and Bird) marks the base of the Oxynotum

Zone, Simpsoni Subzone. Below it, very scarce ammonites, identified as *Aegasteroceras* sp., indicate the Obtusum Zone, Denotatus Subzone (Duarte et al., 2022). The index species for the Simpsoni Subzone, *Oxynoticeras simpsoni* (Simpson), is recorded above *G. gagateum*. The other Echioceratidae species recorded in PO-OU section is *Plesechioceras rochai* Vitón, Comas-Rengifo, Duarte and Goy, a new species recently described in the upper part of the Oxynotum Subzone, endemic for the Lusitanian Basin. The base of this subzone is marked by the first appearance of *Oxynoticeras oxynotum* (Quenstedt), and together with the presence of *Bifericeras bifer* (Quenstedt) and *Gleviceras doris* (Reynès) allow to establish a correlation with other NW European basins (Vitón et al., 2023).

Raricostatium Zone (Densinodulum Subzone) is here established with the first record of *Oxynoticeras lymense* (Wright), which is at 2.8 m above the last *O. oxynotum* associated to *P. rochai*. *Cruciloboceras densinodulum* Buckman, the index species, is also found in this interval.

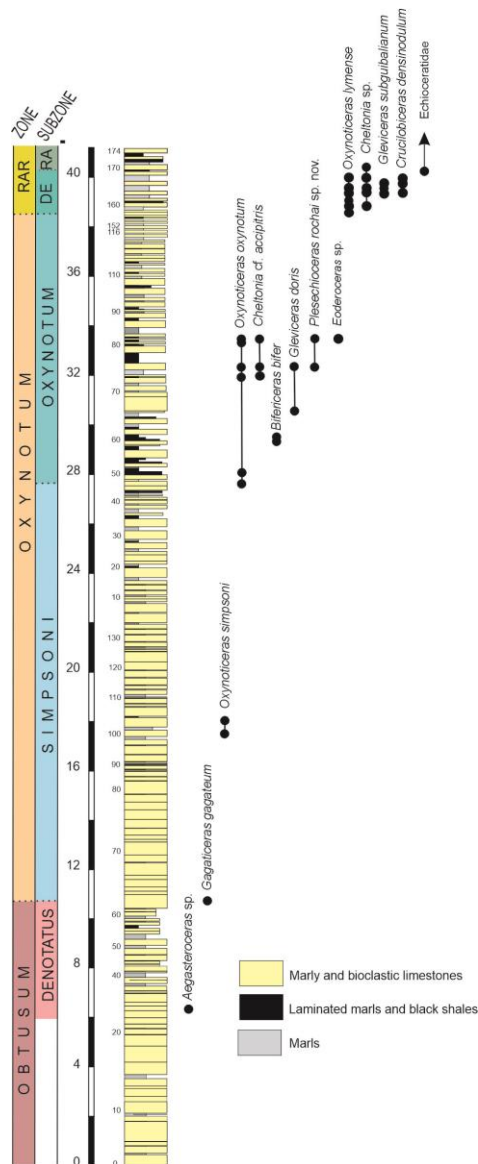


Fig. 1. Stratigraphic log of the PO-OU section with the ranges of the identified species. PO-OU section is south of S. Pedro de Moel village. Modified from Duarte et al. (2014). Abbreviations: RAR: Raricostatum Zone; DE: Densinodulum Subzone; RA: Raricostatum Subzone.

Both species of *Oxynotoceras*, *O. oxynotum* and *O. lymense*, are recorded together with *Cheltonia* species, *Cheltonia* cf. *accipitris* (J. Buckman) and *Cheltonia* sp., respectively. The latter species are significantly smaller than the former. Previously, it has been pointed out by other authors (i.e., Howarth, 2013) the likely presence of sexual dimorphism between these two genera as micro-macroconch pairs. According to the results in the Lusitanian Basin, it is possible to support this hypothesis.

The ammonoid record obtained allows to establish a correlation with the standard zones for the NW European Province (Page, 2003; Vitón et al., 2023). The Oxynotum Zone can be subdivided into both Oxynotum and Simpsoni subzones, with the definition of the Gagateum Horizon for the Simpsoni Subzone and Oxynotum, Bifer and Doris-Rochai horizons for the Oxynotum Subzone. Most of the species are in common with the Asturian Basin (Spain), Yorkshire (United Kingdom) and Burgundy (France). However, in the upper part of Oxynotum and lowest part of Raricostatum zones, the Lusitanian Basin resembles more to Yorkshire, whereas the Asturian Basin has some similarities with the Dolomite Alps.

Acknowledgments: This work was supported by the UCM Research Group ‘Procesos Bióticos Mesozoicos’ [UCM Research Group 910431]; Fundação para a Ciência e Tecnologia, I. P (FCT), under the projects [UIDB/04292/2020, UIDP/04292/ 2020] granted to MARE, and [LA/P/0069/2020] granted to the Associate Laboratory ARNET; and a predoctoral research contract cofounded by Universidad Complutense de Madrid and Banco Santander.

References

- Duarte, L.V., Comas-Rengifo, M.J., Silva, R.L., Paredes, R. & Goy, A. (2014). Carbon isotope, stratigraphy and ammonite biostratigraphy across the Sinemurian-Pliensbachian boundary in the western Iberian margin. *Bull. Geosc.*, 89, 719-736. DOI: 10.3140/bull.geosci.1476.
- Duarte, L.V., Silva, R.L., Azerêdo, A.C., Comas-Rengifo, M.J. & Mendonça Filho, J.G. (2022). Shallow-water carbonates of the Coimbra Formation, Lusitanian Basin (Portugal): contributions to the integrated stratigraphic analysis of the Sinemurian sedimentary successions in the western Iberian Margin. *C. R. Géosc.-Sci. Planète*, 1-18. DOI: 10.5802/crgeos.144.
- Howarth, M.K. (2013). Treatise Online 57, Part L Revised, Volume 3B, Chapter 4, Psiloceratoidea, Ederoceratoidea, Hildoceratoidea. Paleontological Institute: The University of Kansas. 141 pp.
- Page, K.N. (2003). The Lower Jurassic of Europe: its subdivision and correlation. *Geol. Surv. Denm. Greenl. Bull.*, 1, 23-59. DOI: 10.34194/geusb.v1.4646.
- Vitón, Í., Comas-Rengifo, M.J., Duarte, L.V. & Goy, A. (2023). Ammonoids of the Oxynotum Zone and Raricostatum Zone (Densinodulum Subzone) of Sinemurian, Lower Jurassic, in the Asturian and Lusitanian basins. *Hist. Biol.*, 1-16. DOI: 10.1080/08912963.2022.2149333.

SESSÃO CIENTÍFICA 4 (SC_4)
(Sedimentologia e Dinâmica Sedimentar)

Conveners: Pedro Dinis, Conceição Freitas; Aurora Rodrigues

Aplicação da laminografia computadorizada no estudo sedimentar de um ambiente estuarino – resultados preliminares

Use of computed laminography in the sedimentary study of an estuarine environment – preliminary results

A. Alberto (1), T. Drago (2,1) e M. C. Freitas (3,1)

(1) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Campo Grande, Edifício C6, Piso 1, 1749-016 Lisboa, Portugal - aidalberto@fc.ul.pt.

(2) Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P. Estação IPMA Tavira, Vale Caranguejo, 8800-737 Tavira.

(3) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa - Campo Grande, Edifício C6, Piso 3, 1749-016 Lisboa, Portugal.

Summary: In this preliminary study, computed laminography (CL) and X-ray radiography were used to characterize the unconsolidated sediment of three half-round core samples, representative of the Douro Holocene estuary infill. The CL images allowed the examination of sedimentary structures with higher contrast and better definition when compared with the X-ray radiography images, providing a clearer insight into the transport and deposition conditions of these sediments.

Key words: X-radiography, computed tomography, laminography, Douro River estuary.

Palavras-chave: Radiografia, tomografia computadorizada, laminografia, estuário do Rio Douro.

A utilização de imagiologia por raios-X no estudo de sondagens para observação de estruturas internas e composição sedimentar é amplamente conhecida. Radiografias (análise bidimensional) e tomografia computadorizada (TC) (análise tridimensional) são os métodos de análise mais frequentemente utilizados. No entanto, uma terceira técnica de imagiologia por raios-X tem vindo a ganhar importância na análise de sondagens – a laminografia computadorizada (LC). Este método extrai informação tridimensional a partir de radiografias bidimensionais (Gondrom *et al.*, 1999), permitindo maior contraste e detalhes mais nítidos do que os observados nas radiografias, além de ter custos mais reduzidos e gerar menor volume de dados do que as imagens da TC. Nestas, as áreas de maior densidade de material, onde os raios-X sofrem maior atenuação, surgem como zonas mais escuras, enquanto as áreas mais claras representam zonas de menor densidade do material (Bouma, 1964) – radiografias positivas.

O principal objetivo deste trabalho é a aplicação da técnica da LC na identificação de estruturas sedimentares em unidades arenosas em ambiente estuarino, sendo utilizadas amostras do estuário do Douro.

As três sondagens estudadas (D1, D1B e D2) foram colhidas na margem sul do estuário do Rio Douro, em 1999, na zona da Baía de S. Paio e na restinga de areia designada por Cabedelo (Fig. 1), através de

perfuração “rotary” realizada pela empresa Teixeira Duarte. No seu conjunto, totalizam um registo sedimentar de 44 m comprimento.



Fig. 1. Localização das sondagens (D1, D1B e D2) na zona do estuário do Rio Douro.

A análise por raio-X das três sondagens foi realizada com o equipamento Geotek MSCL-XCT, pertencente ao Pólo EMSO-PT, localizado na Estação de Tavira do Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P. (IPMA). Cada metade de sondagem foi analisada usando a projeção de raio-X tradicional ao mesmo tempo que foi usada a técnica LC translacional. Pelo facto de não haver rotação da sondagem aquando da aquisição dos dados, como acontece na metodologia de TC, a técnica LC é particularmente adequada para

o estudo de sondagens já seccionadas longitudinalmente.

As imagens de LC (Fig. 2c) têm, como seria de esperar, maior contraste e definição, quando comparadas com as imagens de radiografia tradicionais (Fig. 2b), fornecendo também informação tridimensional.

Nas imagens de LC foram mais facilmente identificáveis os limites (Fig. 2d, aos -36.44 m e -36.49 m de profundidade) de diferentes tipos de sedimento e uma maior nitidez na alternância de níveis horizontais mais claros e escuros (Fig. 2d, entre -36.44 m e -36.69 m de profundidade), observando-se ainda estruturas laminares onduladas em algumas

das secções (e.g., entre -30.05 m e -30.50 m de profundidade, Fig. 2d), entre outras.

Os dados apresentados neste trabalho permitem demonstrar a elevada qualidade das imagens obtidas por LC, quando comparadas com a técnica de radiografia. O incremento da qualidade de imagem facilita e melhora a identificação das estruturas sedimentares, permitindo assim avaliar os processos de transporte e deposição sedimentar. Os resultados obtidos com esta metodologia representam um bom complemento ao estudo e análise textural e composicional de uma sondagem.

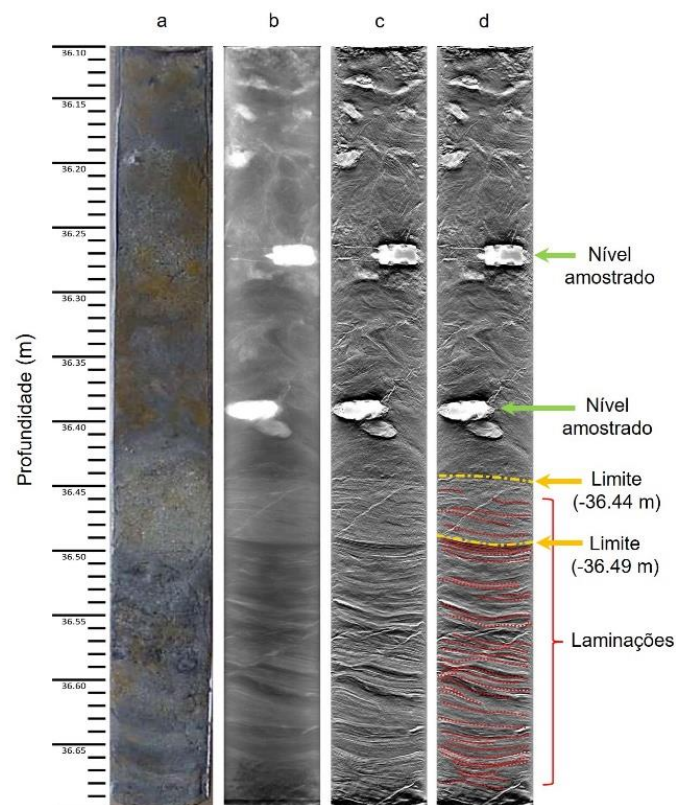


Fig. 2. Fotografia (a), radiografia (b) e laminografia (c) de uma secção (36.10 a 36.70 m de profundidade) da sondagem D2. As estruturas sedimentares visíveis na laminografia estão assinaladas em (d).

Agradecimentos: Este estudo recebeu fundos nacionais portugueses da FCT – Fundação para a ciência e Tecnologia através os projectos UIDB/50019/2020 – IDL e EMSO-PT - PINFRA/22157/2016. As sondagens foram colhidas no âmbito do projeto ENVI-CHANGES (FCT/PLE/12/00). Este trabalho foi realizado no âmbito da bolsa de doutoramento com a referência UI/BD/151497/2021.

Referências

- Bouma, A. H. (1964). Notes on X-ray interpretation of marine sediments. *Marine Geology*, 2, 278-309.
- Gondrom, S., Zhou, J., Maisl, M., Reiter, H., Kro, M. & Arnold, W. (1999). X-ray computed laminography: an approach of computed tomography for applications with limited access. *Nuclear Engineering and Design*, 190, 141-147.

Associações de minerais pesados em depósitos atuais do litoral de Nampula (Moçambique)

Heavy mineral assemblages in present day deposits of littoral Nampula (Mozambique)

B. S. H. Caetano (1) e P. A. M. Dinis (2)

(1) Departamento de Geociencia da Universidade Rovuma - Nampula, Moçambique, bricasantos@yahoo.com.br

(2) Universidade de Coimbra, MARE-Centro de Ciências do Mar e do Ambiente e ARNET - Rede de Investigação Aquática, Departamento de Ciências da Terra

Summary: *Dune and paleo-dune deposits enriched in titanium and zirconium are well represented on the coast of Nampula, reinforcing the great potential of Mozambique in terms of geological resources. The dense fraction of present-day river, beach and dune deposits on coastal Nampula have in common large amounts of amphiboles, while their low contents in zircon and opaque minerals are not compatible with what has been reported for levels explored in Moma and Angoche mining facilities. This divergence indicates that important compositional changes took place between the detrital discharge by regional rivers on the coast and the subsequent accumulation of placers enriched in titanium minerals, along with zircon in the translucent fraction.*

Key words: *heavy minerals, placer formation, coastal deposits, Moma, Angoche*

Palavras-chave: minerais pesados, formação de placers, depósitos costeiros, Moma, Angoche

Moçambique apresenta grande potencial em termos de recursos geológicos, sendo de esperar que a exploração de alguns destes recursos venha a ter um papel fundamental para o futuro desenvolvimento económico de algumas das suas regiões mais desfavorecidas. Cerca de 75% da produção mundial de titânio provém de depósitos sedimentares associados a *placers* (Tyler & Minnitt, 2004). Os depósitos de dunas e paleo-dunas contendo minerais pesados em concentrações economicamente viáveis estão amplamente representados na faixa litoral da África subsariana. Com um comprimento de cerca de 2 700 km, a zona costeira de Moçambique é uma área privilegiada para a ocorrência deste tipo de depósitos. Já são conhecidas há algumas décadas as jazidas em Zalala, Pebane, Moebase, Moma, Angoche, Congolene e Quinga (Afonso & Marques, 1993), as quais demonstram o grande potencial de Moçambique para se tornar num dos principais produtores mundiais de minerais de titânio e zircónio. No litoral de Nampula estão presentemente em atividade instalações mineiras para extração de minerais de titânio em Moma (Kenmare) e Angoche (Haiyu Mining). A informação disponibilizada sobre os níveis explorados indica que estas jazidas são particularmente ricas em ilmenite, com a fração transparente dominada por zircão e quantidades secundárias de rutilo. No entanto, a generalidade dos dados geológicos referentes a estas jazidas encontra-

se apenas na posse das empresas que procedem à exploração mineira.

No presente trabalho apresentam-se dados preliminares sobre as associações de minerais pesados de depósitos sub-atuais amostrados na região envolvente das áreas concessionadas, designadamente em depósitos atuais ou sub-atuais de rios regionais, praias e dunas eólicas. Os minerais pesados destes depósitos foram retirados da fração 0,063-0,5 mm recorrendo-se ao método gravitacional usando politungstato de sódio (~2,9 g/cm³). As percentagens em peso da fração de 0,063-0,5 mm e do concentrado de minerais pesados nesta fração foram registadas para todas as amostras. Grãos de minerais pesados foram então montados em lâminas de vidro com Bálamo do Canadá e analisados usando um microscópio petrográfico de acordo com suas propriedades óticas. Pelo menos cem grãos transparentes foram contados para cada lâmina, tendo a contagem dos minerais opacos sido realizada separadamente. Os resultados obtidos são integrados com informação sobre a geologia/geomorfolgia regional e a composição de sedimentos atuais, contribuindo assim para o entendimento dos processos que condicionam a formação dos *placers* de minerais de titânio.

A província de Nampula está localizada a nordeste de Moçambique. Na sua planície litoral encontram-se maioritariamente unidades sedimentares quaternárias, geralmente com forte componente

clástica associada a deposição em ambientes eólicos, fluviais ou de transição para marinho (praia, laguna, estuário). Os *placers* da província de Nampula estão em depósitos litorais, tanto no setor emerso da orla costeira como na plataforma continental adjacente. Avançando para o interior, depois de ultrapassar uma zona de transição onde predominam os vulcanitos do grupo Angoche, aflora o substrato Mesoproterozoico do Complexo de Nampula, com rochas magmáticas (de granitoides a anortositos) e metamórficas (domínio de gneisses e migmatitos) assim como várias intrusões neoproterozoicas associadas à orogenia Pan-Africana, integrados no Cinturão de Moçambique. As condições climáticas atuais são quentes (temperatura média anual de 25.5 °C, com máximas ultrapassando 40 °C) e húmidas (precipitação média anual da ordem de 1200 mm). Os ventos dominantes na região litoral são de S ou SE durante a maior parte do ano, mas de novembro a janeiro eles tendem a ser de norte, apresentando-se com menor intensidade. Sob influência deste regime de circulação atmosférica, as correntes de deriva litoral são preferencialmente de sul para norte.

A maioria dos depósitos amostrados apresenta percentagens reduzidas de minerais pesados. Nos depósitos eólicos e de praia os concentrados de densos representam geralmente menos de 1% da fração 0,063-0,5 mm e menos de 0,2% da amostra total. Mas algumas lâminas ou superfícies de deflação em acumulações eólicas chegam a apresentar 10 vezes estes valores. Em depósitos fluviais os concentrados de minerais densos podem alcançar perto de 2% da fração 0,063-0,5 mm, mas esta é menos abundante em amostras que se revelam pior calibradas e tendencialmente mais grosseiras que os depósitos de praia ou duna.

Os rios que drenam o litoral de Nampula descarregam no litoral sobretudo anfíbolos (hornblenda), epidoto e quantidades menores de granada e turmalina. Os minerais opacos surgem em proporções semelhantes ou ligeiramente superiores à fração transparente. O rio Zambeze, cuja embocadura se encontra a aproximadamente 400 km das unidades estudadas, também transporta no seu setor jusante maioritariamente anfíbolos e quantidades secundárias de epidoto (Garzanti *et al.*, 2021). As praias e dunas eólicas atuais em Nampula, bem como os depósitos costeiros e de plataforma interna para norte da foz do Zambeze (Garzanti *et al.*, 2021), revelam associações de minerais pesados semelhantes. Contudo, alguns depósitos de cordões de praia e dunas antigas já apresentam significativo enriquecimento em zircão e opacos. Estes depósitos são os que têm maiores concentrações de minerais pesados.

Os *placers* do litoral de Nampula serão reciclados de depósitos na cobertura da Plataforma Continental, que por sua vez foram alimentados por rios que drenam o Cinturão de Moçambique. A composição em termos de minerais pesados dos depósitos atuais, com abundante anfíbola e pouco zircão e opacos, é muito diferente da que é reportada para os níveis explorados em Moma e Angoche. Assim, importantes transformações químicas (associadas à decomposição dos minerais mais instáveis) e físicas (desintegração mecânica e seleção sedimentar por ação da gravidade) são necessárias para se gerarem os depósitos enriquecidos em titânio. A relativa importância de diferentes fontes primárias e os processos que medeiam entre o fornecimento por estas e a deposição final, com enriquecimento em minerais de titânio, carecem de investigação detalhada.

Agradecimentos: O trabalho de campo teve apoio financeiro do projeto SURGE.CPLP ao abrigo dos Programas Estratégicos de Cooperação do Instituto Camões.

Referências

- Afonso, R.S. & Marques, J.M. (1993). *Recursos minerais da República de Moçambique: contribuição para o seu conhecimento*. Instituto de Investigação Científica Tropical Lisboa, Direção Nacional de Geologia de Moçambique, Lisboa.
- Garzanti, E., Pastore, G., Resentini, A., Vezzoli, G., Vermeesch, P., Ncube, L., Van Niekerk H.J., Jouet, G. & Dall'Asta, M. (2021). The segmented Zambezi sedimentary system from source to sink: 1. Sand petrology and heavy minerals. *The Journal of Geology*, 129(4), 343-369.
- Tyler, R.M. & Minnitt, R.C.A. (2004). A review of sub-Saharan heavy mineral sand deposits: implications for new projects in southern Africa. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 89-99.

Transformações ambientais no Mundo Atlântico: como é que o tráfico de pessoas escravizadas transformou a paisagem?

Environmental changes in the Atlantic World: how did the trade of enslaved people shape the landscape?

A. M. Costa (1), M. C. Freitas (2) e R. Gomes Coelho (3)

(1) LARC | Laboratório de Arqueociências, DGPC | Direcção-Geral do Património Cultural, Calçada do Mirante à Ajuda, 10A, 1300-418 Lisboa, Portugal; BIOPOLIS and Cibio; IDL - Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal. acosta@dgpc.pt

(2) IDL | Instituto Dom Luiz e Departamento de Geologia (DG), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C6, Piso 3, 1749-016 Lisboa, Portugal.

(3) UNIARQ | Centro de Arqueologia, Universidade de Lisboa, Alameda da Universidade, 1600-214 Lisboa, Portugal; Department of Archaeology, Durham University, Reino Unido.

Summary: *This paper focuses on the environmental changes that occurred along the margins of Cacheu River, Guinea-Bissau, and Sado River, Portugal, in the context of the transatlantic trade of enslaved people and its aftermath (15th century to the present). We collected five long sediment cores in the estuarine areas of those two rivers. The sediment cores collected from the Cacheu River were performed in areas with different environmental characteristics (intertidal areas with mangrove and rice and without vegetation, but the analysis are still on-going. Preliminary organic analyses of sediments collected from the Sado River indicate anthropic influence and the introduction of N-fertilisers in the river alluvial plain before the 18th century, probably related to the production of rice. New dating will improve the resolution of the age-models produced for the Sado sedimentary sequences in recent years and allow for a more accurate environmental evolution model.*

Key words: *paleoenvironmental reconstruction, Cacheu River, Guiné-Bissau, Sado River, Portugal, sediments*

Palavras-chave: *reconstrução ambiental, Rio Cacheu, Guiné-Bissau, Rio Sado, Portugal, sedimentos*

Entre os séculos XVI e XIX, mais de 12 milhões de pessoas foram escravizadas, forçadas a deixar as suas terras e enviadas para diferentes destinos nas Américas e na Europa (www.slavevoyages.org). Os ambientes e as paisagens de origem e de destino destes milhões de pessoas deslocadas terão sofrido alterações, uma vez que as condições ambientais de cada sociedade são, em grande parte, definidas pelas interações que se estabelecem entre a população, os animais, as plantas e a paisagem envolvente. De acordo com as estimativas disponibilizadas na base de dados *Slave Voyages* (www.slavevoyages.org, consultado em janeiro 2023), cerca de 755 mil pessoas terão sido forçadas a embarcar da Senegambia (área geográfica da África ocidental sensivelmente compreendida entre o Senegal e a Serra Leoa, incluindo a Guiné-Bissau) e áreas limítrofes, tendo sido levadas para a Europa à volta de seis mil entre 1601-1800. Muitas destas terão desembarcado e permanecido em Portugal, desconhecendo-se porém o número total de pessoas que terão sido forçadas a trabalhar as margens dos estuários do Tejo e do Sado (Carmo *et al.*, 2020 e referências aí mencionadas). A presença de pessoas

escravizadas no desenvolvimento de atividades agrícolas e outras atividades nas áreas estuarinas do Tejo e da Sado está documentada, em particular no que diz respeito à extração de sal (Saunders, 1982; Henriques, 2021). Algumas propostas de trabalho avançam hipóteses sobre a possibilidade do cultivo do arroz nas margens destes estuários ter sido efetuado, de igual forma, por pessoas escravizadas durante os séculos XV e XVIII (Carmo *et al.*, 2020). No entanto, este tema está ainda pouco explorado.

Tendo por base duas áreas de estudo - rio Cacheu, na Guiné-Bissau e rio Sado, em Portugal - antagónicas no processo de tráfico de pessoas escravizadas, os objectivos deste trabalho são: i) caracterizar o contexto ambiental e a evolução nos vales do rio Cacheu e do rio Sado nos últimos 1000 anos; ii) identificar alterações do uso da terra nas margens do rio Cacheu (de onde embarcaram forçadamente milhares de pessoas) e do rio Sado (onde um número desconhecido de pessoas foi forçado a trabalhar, e/ou antigos escravizados se estabeleceram depois da emancipação formal); e iii) contribuir para a compreensão das alterações ambientais produzidas em diferentes áreas geográficas por sociedades

baseadas na escravatura antes e depois da abolição formal.

De forma a atingir os objectivos propostos, 3 sondagens longas de sedimentos foram recolhidas nas margens do rio Cacheu em 2022, em ambientes diferentes: Cacheu1 na zona intertidal baixa, próximo do centro urbano da cidade de Cacheu; Cacheu2 na zona intertidal alta, afastado do centro urbano e em zona de mangal; e Cacheu3, zona intertidal alta em zona de arrozal. Além destas, duas sondagens longas de sedimentos foram recolhidas na planície aluvial do rio Sado, Arapouco e Laxique, localizadas a 50 km e 65 km da foz do estuário do Sado, respectivamente, em áreas onde hoje em dia se produz arroz.

Os sedimentos são analisados para diferentes indicadores ambientais (textura, teor em matéria orgânica, teor em carbonato de cálcio, e tipologia de matéria orgânica com recurso a química orgânica), e indicadores direccionados para a identificação da presença do arroz (caracterização de macrorestos vegetais e análises palinológicas). Serão produzidas datações por AMS ^{14}C e/ou Pb/Cs para atribuição cronológica e produção de modelo de idades.

As sondagens recolhidas na Guiné, essencialmente constituídas por vasa e vasa arenosa com algumas intercalações arenosas e com a presença de conchas e fragmentos de concha e macrorestos vegetais (Fig. 1) estão ainda a ser processadas. No entanto, as análises ao teor em C e N e as análises isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ realizadas em Arapouco e Laxique (rio Sado), indicam uma alteração no padrão de sedimentação no topo das sondagens (últimos 1/2 m), interpretados como o resultado da influência da

adição de fertilizantes azotados e de práticas agrícolas, particularmente relacionadas com a de arroz (Costa *et al.*, 2019; 2021).

Em Laxique, alterações no perfil de $\delta^{15}\text{N}$ em profundidade sugerem a prática agrícola e introdução de N-fertilizantes desde o séc. XIII (Costa *et al.*, 2021). No entanto, os modelos de idades produzidos para ambas as sondagens realizadas no rio Sado apresentam baixa resolução para o topo da sucessão sedimentar e necessitam revisão.

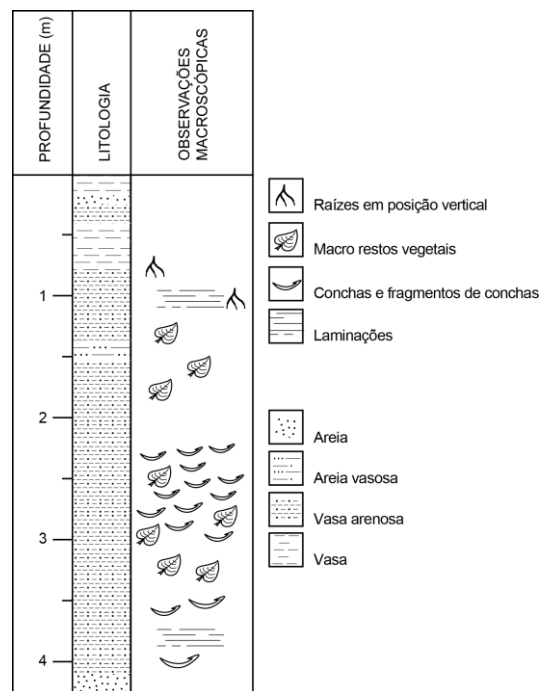


Fig. 1. LOG litoestratigráfico da sondagem Cacheu1.

Agradecimentos: O trabalho de campo em Cacheu, Guiné-Bissau, contou com a colaboração de Lourenço Vaz Rodrigues, Valeria Vdovina e Gino Gomes. O trabalho de campo para recolha de sondagens nas margens do rio Cacheu foi financiado pelo projeto FCT PTDC/HAR-ARQ/4540/2021. O trabalho contou também com o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) I.P./MCTES através do fundo nacional (PIDDAC) - UIDB750019/2020-IDL.

Referências

- Carmo, M., Sousa, J., Varela, P., Ventura, R. & Bivar, M. (2020). African knowledge transfer in Early Modern Portugal: Enslaved people and rice cultivation in Tagus and Sado rivers. *Diacronie, Studi di Storia Contemporanea* 44, 4.
- Costa, A.M., Freitas, M.C., Leira, M., Fonseca, R., Duarte, J., Diniz, M. & Arias P (2021). Late Holocene evolution of a Mediterranean incised river flowing to the Atlantic: Sedimentary dynamics, fluvial activity and paleoenvironmental reconstruction (SW Iberia). *Quaternary International* 638-639, 37-55.
- Costa, A.M., Freitas, M.C., Leira, M., Costas, S., Costa, P.J.M., Andrade, C., Bao, R., Duarte, J., Rodrigues, A., Cachão, M., Araújo, A.C., Diniz, M. & Arias, P. (2019). The role of climate, marine influence and sedimentation rates in Late Holocene estuarine evolution (SW Portugal). *The Holocene* 29(4), 622–632.
- Henriques, I.C. (2021) Os “pretos do Sado”: História e memória de uma comunidade alentejana de origem africana (Séculos XV-XX), Lisboa, Colibri.
- Saunders, A. (1982). *A social history of black slaves and freedmen in Portugal, 1441-1555*, Cambridge, Cambridge University Press.

Controle litológico sobre índices de meteorização química. Um caso de estudo com sedimentos atuais do SW de Angola

Lithological control over indices of chemical weathering. A case study with present-day sediments from SW Angola

A. Cruz (1), P. Dinis (2) e A. Gomes (3)

(1) Universidade de Coimbra, MARE-Centro de Ciências do Mar e do Ambiente e ARNET - Rede de Investigação Aquática, Departamento de Ciências da Terra, armandatrindade@hotmail.com

(2) Universidade de Coimbra, MARE-Centro de Ciências do Mar e do Ambiente e ARNET - Rede de Investigação Aquática, Departamento de Ciências da Terra

(3) Departamento de Geografia, CEGOT—Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade do Porto

Summary: Different compositional features of sedimentary units have been used to evaluate the intensity of chemical weathering. In this work we used the geochemistry and clay mineralogy of a set of present-day sediments collected in the lithologically and geomorphologically heterogeneous Caculuar-Mucope fluvial system to investigate the processes that influence weathering proxies. Weathering proxies measured in deposits of different grain-size are not coincident. Sand is too affected by provenance to provide safe information about weathering intensity. Fine-grained deposits still hold a lithological signal but are much more affected by chemical decomposition. Robust relations between weathering and clay assemblages can only be obtained if reworking processes are not involved in sediment production.

Key words: chemical weathering, geochemistry, clay mineralogy, SW Angola

Palavras-chave: meteorização química, geoquímica, mineralogia da fração argilosa, SW de Angola

A meteorização química é responsável pela decomposição dos minerais mais instáveis à superfície da Terra, com enriquecimento nos mais estáveis e formação de minerais de alteração. A intensidade da meteorização química que afeta uma determinada região pode ser estimada através de diversos índices composicionais. Todavia, não é fácil estabelecer relações claras entre a composição dos sedimentos e as condições de meteorização química.

No presente trabalho relacionam-se os resultados de parâmetros composicionais que têm sido usados como *proxies* de alteração química, medidos em sedimentos atuais do sistema fluvial Caculuar-Mucope (integrados na bacia de drenagem do rio Cunene), com as respetivas áreas de drenagem (Fig. 1). Foi avaliada a composição química de depósitos arenosos (amostra total) e areno-argilosos (fração <32 µm) e a mineralogia da fração argilosa (fração <2 µm) de todos estes materiais.

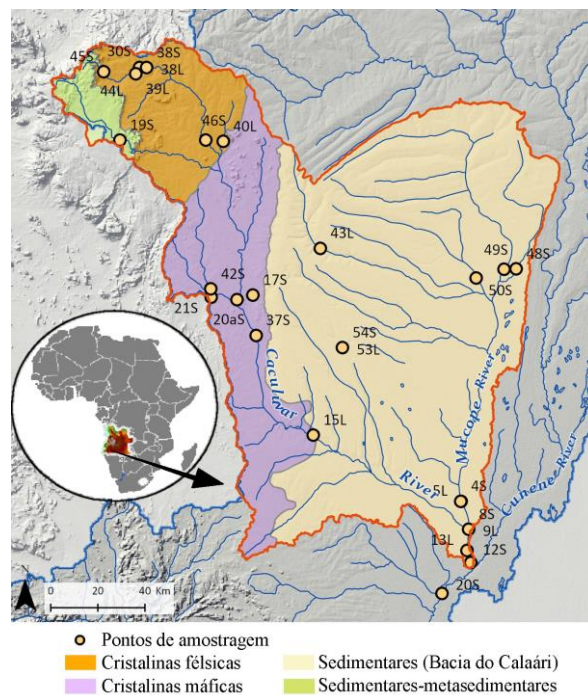


Fig. 1. Sistema fluvial Caculuar-Mucope e localização dos pontos de amostragem.

O rio Mucope drena exclusivamente unidades sedimentares da Bacia do Calaári, enquanto o

Caculvar atravessa unidades cristalinas félsicas e máficas. Para além da diversidade litológica, também se verifica um claro contraste climático entre diferentes setores da bacia. A temperatura tende a aumentar para leste e sul, ao passo que a precipitação anual é maior no setor montanhoso norte (1000 mm), diminuindo para sul (450–500 mm). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima é subtropical montanhoso (Cwb) no setor noroeste, passando para sul a semiárido quente (Bsh).

Os índices geoquímicos mais usados como *proxies* de alteração química baseiam-se em relações de concentração de elementos maiores móveis e imóveis. Recorreu-se aqui ao clássico CIA (Nesbitt & Young, 1982), ao CIX (Garzanti *et al.*, 2014), que não considera as concentrações de CaO para evitar enviesamentos impostos pela presença de carbonatos ou fosfatos, e ao MIA (Babechuk *et al.*, 2014) que também pretende avaliar o comportamento de silicatos de Fe e Mg. Usaram-se ainda índices de mobilidade $\alpha^{Al}E$ (em que E corresponde a um elemento químico móvel à superfície da Terra, como o Na, Ca, Mg, K, etc.) medidos com diferentes elementos (Garzanti *et al.*, 2013). Em termos de minerais de argila, usou-se a percentagem de caulinite como *proxy* de alteração química.

A composição de depósitos arenosos revela-se de pouca utilidade em avaliações da intensidade da meteorização química, uma vez que são fortemente condicionados pela litologia presente na área de alimentação. Relativamente aos índices de alteração, observa-se:

- CIA, CIX e MIA mais baixos em depósitos alimentados de áreas com rochas máficas que nos derivados de rochas félsicas.

- $\alpha^{Al}Mg$ e $\alpha^{Al}Ca$ muito elevados em depósitos com fonte félsica e $\alpha^{Al}K$ muito elevado em depósitos com fonte máfica.

- CIA, MIA e $\alpha^{Al}Na$ mais elevados em depósitos que resultam de reciclagem sedimentar do que nos derivados de rochas cristalinas

A geoquímica das frações de grão fino é menos condicionada pela litologia da área de alimentação, mas este fator influenciador ainda se manifesta. Quando a alimentação é maioritariamente máfica ou félsica, os índices de alteração química apresentam valores mais elevados nos depósitos/frações de grão fino devido ao enriquecimento em Al. Este enriquecimento não é tão notório em depósitos reciclados, fazendo com que os índices não sejam substancialmente diferentes em sedimentos de diferente granulometria. O $\alpha^{Al}Na$ é a única exceção evidente, indicando que a mobilidade do Na é muito superior à do Ca, Mg e K.

A mineralogia da fração argilosa ainda revela controle litológico, com enriquecimento em mica-ilite e esmectite em depósitos com áreas de drenagem enriquecidas em rochas félsicas e máficas, respetivamente. A esmectite também pode ser abundante em depósitos reciclados. Quando se consideram apenas sedimentos com fontes magmáticas, a concentração de caulinite tende a correlacionar-se com a precipitação na área de drenagem. Mas esta relação perde-se em sedimentos reciclados.

Agradecimentos: O presente trabalho teve o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através do projeto UIDB/04292/2020 (MARE)

Referências

- Babechuk, M.G., Widdowson, M. & Kamber, B.S. (2014). Quantifying chemical weathering intensity and trace element release from two contrasting basalt profiles, Deccan Traps, India. *Chemical Geology*, 363, 56–75.
- Garzanti, E., Padoan, M., Setti, M., Peruta, L., Najman, Y., & Villa, I.M. (2013). Weathering geochemistry and Sr-Nd isotope fingerprinting of equatorial upper Nile and Congo muds. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14, 292–316.
- Garzanti, E., Padoan, M., Setti, M., López-Galindo, A., & Villa, I. M. (2014). Provenance versus weathering control on the composition of tropical river mud (southern Africa). *Chemical Geology*, 366, 61-74.
- Nesbitt, H.W. & Young, G.M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299, 715–717.

Determinação de geoindicadores costeiros em nove praias do sudoeste alentejano

Establishment of coastal geoindicators in nine beaches of the southwest Alentejo

C. Duarte (1) e P. J. M. Costa (1,2)

(1) Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal. caroolinabell@gmail.com

(2) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal.

Summary: Coastal geoindicators are being applied to characterize nine beaches along the southwestern Portuguese coast. These indicators are used to determine coastal sedimentary dynamics and beach morphology. Furthermore, they can be used to implicitly infer economic-touristic potential. To assess the degree to which the general public perceives the relevance of coastal geoindicators, a survey was conducted through a questionnaire on 127 beach users. Preliminary results suggest that public perception is extremely low despite the relevance of coastal geoindicators as a management tool along the southwestern Portuguese coast.

Key words: coastal geoindicators, Portuguese coastal area, touristic potential, sediment dynamics, beach morphology

Palavras-chave: geoindicadores costeiros, zona costeira portuguesa, potencial turístico, dinâmica sedimentar, morfologia de praia

A costa portuguesa é extremamente valiosa, não só pela sua beleza paisagística, mas também pela sua relevância social e económico-turística. No caso do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina as praias são fundamentais no desenvolvimento da região, sendo necessário caracterizá-las do ponto de vista físico (morfologicamente e sedimentologicamente) utilizando geoindicadores costeiros como plataforma de agregação de informação quantitativa que possa, posteriormente, contribuir para a gestão e o ordenamento costeiro.

Neste trabalho são apresentados doze geoindicadores que permitiram caracterizar um conjunto de nove praias situadas no Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina (Fig. 1). Os geoindicadores que foram utilizados são: a orientação da linha de costa; a evolução recente da linha de costa; a granulometria dos sedimentos; a variação composicional dos sedimentos arenosos; a morfologia da praia; o volume da praia; a largura da praia; o declive da praia; a elevação do corpo dunar; o volume dunar; a largura dunar e a evolução da linha de praia (Carapuço *et al.*, 2016).

É também objetivo deste trabalho determinar o grau de sensibilidade e perceção dos utilizadores de praia aos geoindicadores.

As praias estudadas foram: a Praia do Túnel, a Praia da Zambujeira, a Praia da Amália, a Praia de Odeixe, a Praia de Vale dos Homens, a Praia da Amoreira, a

Praia da Arrifana, a Praia de Vale Figueiras e a Praia da Bordeira.



Fig. 1 - Enquadramento da área de estudo no mapa de Portugal continental e localização das nove praias estudadas, fotografias da praia de Odeixe (ODX) e da praia da Bordeira (BDR). Imagens Google Earth e fotografias de autoria própria.

Estas praias podem ser caracterizadas como de baixo declive, e na sua maioria bordejadas por arribas Paleozóicas, formações do Devónico ou Carbónico que constituem o Sector Sudoeste da Zona Sul Portuguesa (Babilno, 2009).

Neste trabalho foram realizadas análises texturais (granulometria e morfosopia) que permitiram caracterizar os sedimentos das praias em estudo, nomeadamente através da análise de amostras

recolhidas na face de praia, berma de praia e face barlamar da duna frontal.

Para além desta caracterização textural, foram ainda determinadas várias características geomorfológicas (i.e. geoindicadores atrás referidos), tendo por base uma análise cartográfica a diferentes escalas utilizando fotografias aéreas (com intervalo máximo de observação de aproximadamente 40 anos) e cartas geológicas: Carta Geológica de Portugal 1:200 000, folha 7 (Oliveira, J. T. *et al.* 1984)

Para aquilatar a perceção do público sobre alguns dos geoindicadores previamente mencionados, foram realizados 127 inquéritos a utilizadores destas zonas balneares. Os inquéritos focaram-se na extrapolação dos geoindicadores sobre o potencial turístico, o valor científico e sobre a proteção das praias.

Dentro das nove praias estudadas os sedimentos que as compõem variam dimensionalmente entre entre 0,5 e 3 Φ . A amostra que apresenta areia mais grosseira (1,54 Φ) foi retirada da berma da Praia de Vale dos Homens. Por contraste, a amostra mais fina foi registada na face a barlamar da duna na Praia da Zambujeira (2,05 Φ). Finalmente, as que apresentam maior desvio padrão (0,4) são a amostra de duna e a de face de praia recolhidas na Praia da Amália, as amostras com menor desvio padrão (0,3) são as amostras de berma da Praia da Bordeira, Arrifana e

Túnel e as amostras de duna frontal das Praias de Vale dos Homens e Vale Figueiras.

Relativamente aos geoindicadores, determinou-se que a praia que apresenta maior dimensão e maior volume é a praia da Bordeira (cerca de 3,2 km²), a praia que tem uma maior extensão dunar (cerca de 0,28 km²) e maior declive médio (1,26°) é a praia da Amoreira. A praia que apresenta maior variação da posição da linha de costa é a praia de Odeceixe.

Nos resultados dos inquéritos realizados verificou-se que os utilizadores revelaram uma grande discrepância sobre a perceção da vulnerabilidade das praias e um relativo desconhecimento sobre o seu valor científico. Apesar disso, a maioria refere a necessidade de proteção das praias e compreende a sua importância sócio-económica.

É possível ainda afirmar que as questões sobre os geoindicadores que mais mereceram destaque pelos utilizadores de praia são: a questão sobre o conforto de praia (relacionado com o aspeto textural e composicional); e a questão sobre a probabilidade de ocorrência de deslizamentos ou movimentos de massa nas arribas.

Neste trabalho, para além da caracterização dos geoindicadores em 9 praias do sudoeste alentejano, concluímos que, aparentemente, a população ainda não reconhece a pertinência e mais-valia dos geoindicadores costeiros na gestão das praias.

Referências

- Balbino, R. (2009). A Geologia do PNSACV – caracterização geral e propostas de atividades geoeseducativas. Dissertação de mestrado em ciências da terra e da vida, Universidade de Lisboa.
- Carapuço, M. M., Taborda, R., Silveira, T.M., Psuty, N., Andrade, C., Freitas, M. C. (2016) . Coastal geoindicators: Towards establishment of a common framework for sandy coastal environments. *Earth-Science Reviews* 154. Pp 183-190
- Oliveira, J. T., Andrade, A. S., Antunes, M. T., Carvalho, D., Coelho, A. V. P., Feio, M., Gonçalves, F., Manuppela, G., Marques, B., Monteiro, J. H., Munhá, J., Ramalho, M., Rey, J., Ribeiro, A., Rocha, R., Zbyszewski, G. (1984). Carta Geológica de Portugal 1:200 000 Notícia explicativa da folha 7. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Magnetic tracers of sediment transport

Traçadores magnéticos na avaliação do transporte sedimentar

E. Font (1,2), S. Romão (2,3,4), J. Cascalho (2,3), R. Taborde (2,3), P. A. Silva (4), K. Black (5) M. Wright (5) and J. Poleykett (5)

(1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia, 3000-272 Coimbra, Portugal font_eric@hotmail.com

(2) Instituto Dom Luís (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-026 Lisboa, Portugal

(3) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016, Lisboa, Portugal

(4) Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) e Departamento de Física, Campus de Santiago, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

(5) Partrac Ltd. 141 St James Road, Glasgow G4 OLT, UK

Sumario: *O uso de traçadores magnéticos como ferramenta para rastrear o transporte de sedimentos ainda é pouco documentado. Aqui estudamos diferentes tipos de traçadores magnéticos com base na caracterização da sua suscetibilidade magnética, bem como da sua coercividade e magnetização remanente medidas com curvas de magnetização remanente isotérmica. Avaliamos o sinal magnético de areias naturais aquecidas até 900 °C, bem como traçadores magnéticos preparados em laboratório usando areias pintadas com tinta magnética. Também medimos as propriedades magnéticas dos traçadores fabricados pela empresa Partrac. Os resultados obtidos mostram que o aquecimento das areias naturais produz um fraco aumento do sinal magnético. As areias pintadas com tinta magnética têm uma magnetização quatro ordens maior que as areias originais. Os traçadores Partrac têm uma magnetização inferior às areias pintadas mas têm uma coercividade média superior, permitindo quantificar a respetiva concentração dos traçadores magnéticos em relação aos minerais magnéticos originalmente contidos nos sedimentos.*

Palavras-chave: *traçadores magnéticos, tinta magnética, IRM, suscetibilidade magnética, Partrac*

Key words: magnetic tracers, magnetic ink, IRM, magnetic susceptibility, Partrac

Since the middle of the 20th century, sediment tracking has been extensively used to access sediment transport pathways in natural environments (e.g., Black *et al.*, 2007; Pantin, 1961; White, 1998). The technique relies on the injection of natural or artificial particle tracers in the studied area and their subsequent detection either in-situ or in the laboratory. The most commonly used particle tracers are fluorescent particles, or a combination of fluorescent and magnetic particles (generally called “dual-signature” tracers) (for a comprehensive review see Black *et al.*, 2007). The use of ferromagnetic tracers constitutes a promising approach to track in-situ sediment transport in quasi-real-time but has been poorly explored hitherto. Questions remain about the kind of magnetic tracers that should be used in a specific natural environment and coating process. For example, Pantin (1961) proposed to use natural iron-rich sand in natural environments, whereas other authors opt to use magnetic tracers manufactured in the laboratory. Van der Post *et al.* (1995) suggest producing magnetic tracers by heating natural beach sands. During heating at 500-900 °C,

iron compounds may convert into magnetic iron oxides at the surface of the grains or even as individual magnetite particles, increasing the magnetic signal of the material. Black *et al.* (2007) proposed to use a synthetic ‘dual signature’ tracer, comprising both fluorescent color and magnetic character, manufactured by the Partrac industry.

Here we aim to evaluate the efficiency of different kinds of magnetic tracers based on the characterization of their magnetic susceptibility, as well as their coercivity and remanent magnetization measured based on isothermal remanent magnetization curves. In particular, we heated natural paramagnetic sands up to 900 °C. We also analyzed the dual signature (fluorescent and magnetic) tracers manufactured by PARTRAC, as well as magnetic tracers prepared in laboratory by coating natural sands with ferromagnetic ink.

magnetic tracers were prepared by coating with a magnetic ink two types of sands: natural sands of the Costa Nova Beach, Aveiro, Portugal, and sands manufactured by Schlingmeier Quarzsand (99.6% of silica). Magnetic measurements were performed at

the Paleomagnetism Laboratory of the Department of Earth Sciences of the University of Coimbra and consisted of the measurement of the magnetic susceptibility and the acquisition of isothermal remanent magnetization (IRM) curves. Samples were placed in standard (8 cm³) cubic plastic boxes. Magnetic susceptibility was measured with an MS2 Bartington apparatus and reported relative to volume (K in SI) or to mass (χ in m³/kg). Temperature dependence of magnetic susceptibility was measured with the MFK1 kappabridge at the Instituto Dom Luiz (University of Lisbon). Stepwise IRM (typically 30 steps) was acquired with an impulse magnetizer (model IM-10; ASC Scientific) and measured using a Molspin magnetometer. The maximum applied field was 1.2 T. IRM acquisition curves were unmixed into several components based on cumulative log-Gaussian (CLG) functions with the Kruiver *et al.* (2001) software or on skewed generalized (log) Gaussian functions with the Max UnMix program (Maxbauer *et al.*, 2016) to isolate the contributions of the different populations of magnetic grains.

Results show that the magnetic enhancement after heating natural sands is poorly effective, leading to an increase of the magnetic signal of 3 to 10 times compared to the original sands. Unmixed IRM curves of the heated sands indicate that the magnetic remanence is carried by magnetite (80%) and hematite (20%). Conversely, magnetic enhancement, mainly carried by magnetite in this case, of the

painted Aveiro and Quarsand particles is four orders higher than the original magnetization. SIRM values of the painted particles are ~500-800 A/m, whereas SIRM of the PARTRAC tracers reaches 230 A/m. Although the magnetic signal of our homemade magnetic tracers is higher than the PARTRAC tracers, it presents some limitations. First, the magnetic ink of the painted Costa Nova Beach sands and Quarsand particles is partially removed after erosion and abrasion of the grain during transport. Indeed, after abrasion of the painted particles into a rubber cylinder for 24h, the resulting total remanence decreased by about 19%. Secondly, the mean coercivity ($B_{1/2}$) of the magnetite of our homemade tracer is relatively low and about 35 mT, a value which is similar to the detrital and pedogenic magnetite generally contained in soils and sediments. This implies that the distinction between the magnetic signal of the background (i.e. magnetite originally contained in the sediment under study) and the magnetic signal carried by the magnetic tracer is statistically difficult to dissociate based on the unmixing of the IRM curves. In counterpart, the mean coercivity of the PARTRAC tracers is significantly higher, around 60 mT, making possible the quantification of the magnetic enhancement produced by the tracer only. Our findings provide new clues to improve the use of magnetic tracers as a tool for tracking sediment transport.

Acknowledgments: This work was funded by IDL (ref. FCT/UIDB/50019/2020) and by the SANDTRACK project (POCI-01-0145-FEDER-031779).

References

- Black, K.S., Athey, S., Wilson, P. & Evans, D. (2007). The use of particle tracking in sediment transport studies: a review. *Coastal and Shelf Sediment Transport* 274, 73-91.
- Kruiver, P.P., Dekkers, M.J. & Heslop, D. (2001). Quantification of magnetic coercivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetisation. *Earth and Planetary Science Letters*, 189, 269-276.
- Maxbauer, D.P., Feinberg, J.M. & Fox, D.L. (2016). MAX UnMix: A web application for unmixing magnetic coercivity distributions. *Computers & Geosciences*, 95, 140-145.
- Pantin, H.M. (1961). Magnetic concrete as an artificial tracer mineral, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 4:4, 424-433.
- Van der Post, K.D., Oldfield, F. & Voulgaris, G. (1994). Magnetic tracing of beach sand: preliminary results. *Proceeding in International Conference on the Role of the Large Scale Experiments in Coastal Research*, Barcelona, Spain, February 21-25, 1994.
- White, T.E., (1998). Status of measurement techniques for coastal sediment transport. *Coastal Engineering* 35, 17-45.

Valores de fundo regionais para metais em sedimentos do Sado

Regional baseline values for metals in Sado sediments

M. C. Freitas (1), A. M. Costa (2), A. Cruces (3) e R. Fonseca (4)

- (1) IDL | Instituto Dom Luiz e Departamento de Geologia (DG), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C6, Piso 3, 1749-016 Lisboa, Portugal, cfreitas@fc.ul.pt
 (2) LARC | Laboratório de Arqueociências, DGPC | Direcção-Geral do Património Cultural, Calçada do Mirante à Ajuda, 10A, 1300-418 Lisboa, Portugal; BIOPOLIS and Cibio; IDL - Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
 (3) Universidade Lusófona - Centro Universitário de Lisboa, Faculdade de Engenharia, Campo Grande, 376, 1749-024 Lisboa – Portugal. IDL - Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
 (4) Laboratório de Biogeoquímica ambiental, Universidade de Évora, Colégio Pedro da Fonseca, Parque Industrial e Tecnológico, Rua da Barba Rala nº1, 7005-345 Évora, Portugal.

Summary: This paper presents regional geochemical baseline values for cadmium (Cd), cobalt (Co), chromium (Cr), copper (Cu), nickel (Ni), lead (Pb), vanadium (V) and zinc (Zn) determined using sediments of the Sado estuary. The baselines were calculated by analyzing 34 sediment samples selected from 3 sediment cores performed in the Sado basin alluvial plain at Arapouco, Laxique and Arez, located between 50 and 65 km upstream the estuary inlet and in the Comporta salt marshes, located in the central estuarine basin. The samples were selected based on their age and only samples older than ca. 3000 cal BP were analyzed to discard anthropic influence. Maximum values of Cd=4 Co=9, Cr=58, Cu=40, Ni=21, Pb=11, V=71 and Zn=56 mgKg⁻¹ were achieved. These values can be applied as geochemical baselines for the Sado estuary in contamination studies or for the determination of the anthropic metal contribution in the area.

Key words: heavy metals, contamination, estuarine environment, Sado River (Portugal), sediments

Palavras-chave: metais pesados, contaminação, ambiente estuarino, Rio Sado (Portugal), sedimentos

Os estuários são ambientes de transição complexos pela sua posição de interface entre o continente e o oceano e as suas margens são sede de intensa ocupação humana. São áreas de acumulação por excelência, sendo local de deposição de sedimentos provenientes da bacia hidrográfica do(s) rio(s) que neles desagua(m) e do mar, trazidos pelas correntes de maré e pelas ondas. O padrão de sedimentação no interior da bacia estuarina vai depender de diversos fatores, entre os quais a localização e natureza das fontes, a taxa de fornecimento sedimentar e a sua sazonalidade e a seletividade hidrodinâmica dos processos de transporte. As características sedimentológicas dos materiais acumulados no fundo dos estuários resultam de um balanço de massa, ou seja, da relação entre as fontes (material que entra no sistema e material aí produzido), por um lado, e as perdas (material que deixa o sistema) e sumidouros (material que fica aprisionado ou que é consumido no sistema), por outro. As fontes sedimentares naturais podem, por isso, ser externas e internas, e ambas incluem materiais geogénicos e biogénicos. A atividade humana, localizada em toda a área de drenagem, e em particular a urbana, agrícola e industrial, é ainda responsável pela introdução de elementos antrópicos nos estuários. Nestes incluem-se os metais (em particular os metais pesados e

metalóides) com diversas origens antrópicas, mas também presentes no substrato geológico. Neste contexto, torna-se fundamental conhecer os valores de fundo naturais (geogénicos) para perceber, em cada bacia de acumulação, a dimensão do contributo antropogénico e determinar o grau de contaminação (Fig. 1).

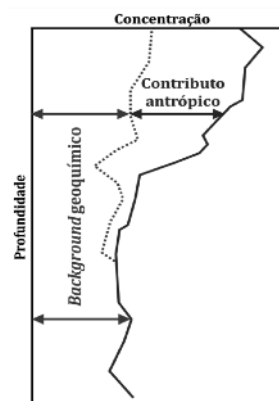


Fig. 1. Variação de teores de metais em função da profundidade, em sondagens, e representação dos valores de fundo geoquímico e contributo antrópico.

Neste trabalho apresentam-se os valores de fundo regionais para metais traço no estuário do Sado. O estuário do Sado localiza-se 40 km a sul de Lisboa e

tem uma área de 236 km². Nele desaguan o Rio Sado, a Ribeira da Marateca e a Ribeira da Comporta. A bacia hidrográfica que drena para o estuário tem uma área de 7640 km² e nela afloram unidades com idades entre o Proterozoico e o Holocénico. Trata-se de areias, cascalheiras, arenitos, argilas e calcários mais ou menos margosos, cenozoicos da Bacia do Baixo Tejo e Sado, rochas eruptivas antigas pertencentes à Zona de Ossa-Morena e xistos, quartzitos e tufos vulcânicos paleozoicos da Zona Sul-Portuguesa (Andrade *et al.*, 2006). Os valores de fundo geoquímico foram obtidos em amostras da base de sondagens efetuadas na planície aluvial do rio Sado (comprimentos entre 7 e 13 m), localizadas em Laxique (Costa *et al.*, 2021), Arapouco (Costa *et al.*, 2019) e Arez (Costa *et al.*, 2022) e nos sapais da Comporta (comprimento de 2 m) e com idades entre 2992 cal BP e 8822 cal BP, ou seja, anteriores à presença humana com impactos relevantes na área em estudo. As amostras foram liofilizadas, moídas e analisadas (amostra total) relativamente ao teor de metais (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V e Zn) por espectrometria de emissão ótica com fonte induzida de plasma (ICP-OES), Perkin-Elmer, OPTIMA 8300, após digestão parcial (*Aqua Regia*).

A análise textural foi realizada por crivagem a húmido, tendo sido separada a fração fina (< 63 micra) da fração grosseira (>63 micra).

Os resultados obtidos em 34 amostras são apresentados na Tabela I e Fig. 2. Os sedimentos são maioritariamente de natureza fina, com % de silte+argila superior a 60%, ocorrendo apenas uma amostra com fração fina inferior a 20%. Estas características refletem-se na gama de valores obtidas para o Al, superiores nos sedimentos finos. O Cr, Zn, Mn e V apresentam uma maior gama de valores relativamente aos restantes metais. Os valores obtidos podem ser usados para determinação da influência antrópica no Sado, em amostras analisadas com digestão parcial, pois constituem valores regionais pré-antrópicos, obtidos em sedimentos fósseis com características texturais e composicionais idênticas aos dos sedimentos atuais.

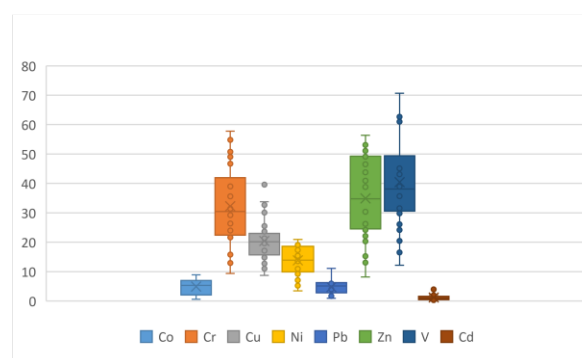


Fig. 2. Gráfico de variação do teor (mgKg⁻¹) de alguns dos metais analisados.

Tabela I. Valores máximos, mínimos e médios obtidos para os metais em amostras de sondagens recolhidas na planície aluvial do Sado e em sapais da Comporta.

(mgKg ⁻¹)	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Máximo	47239,71	3,98	8,95	57,79	39,63	35239,52	810,94	20,92	11,10	70,69	56,40
Mínimo	10354,17	0,25	0,64	9,39	8,75	5097,04	21,56	3,46	0,92	12,16	8,18
Média	34799,95	1,25	4,28	28,85	19,73	20843,87	210,83	12,35	4,70	35,18	30,95

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado pelos projetos: HAR2014-51830-P (MCI Espanha); PTDC/CTA-GEO/28412/2017 (FCT); FCT I.P./MCTES através do fundo nacional (PIDDAC) - UIDB750019/2020-IDL.

Referências

- Andrade, C., Freitas, M.C., Brito, P., Amorim, A., Barata, A. & Cabaço, G. (2006). Estudo de Caso da Região do Sado. Zonas Costeiras. In: Santos, F.D.; Moita, R. & Miranda, P. (Eds). Alterações Climáticas em Portugal, Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação, Projeto SIAM II, Gradiva, Lisboa, 423-438.
- Costa, A.M., Freitas, M.C., Leira, M., Costas, S., Costa, P.J.M., Andrade, C., Bao, R., Duarte, J., Rodrigues, A., Cachão, M., Araújo, A.C., Diniz, M. & Arias, P. (2019). The role of climate, marine influence and sedimentation rates in Late Holocene estuarine evolution (SW Portugal). *The Holocene* 29(4), 622–632.
- Costa, A.M., Freitas, M.C., Leira, M., Fonseca, R., Duarte, J., Diniz, M. & Arias P (2021). Late Holocene evolution of a Mediterranean incised river flowing to the Atlantic: Sedimentary dynamics, fluvial activity and paleoenvironmental reconstruction (SW Iberia). *Quaternary International* 638-639, 37-55.
- Costa, A. M., Freitas, M. C., Jiménez-González, M. A., Jiménez-Morillo, N.T., Dias, C. B., Val-Péon, C., Reicherter, K., Araújo, A. C., Gabriel, S., Leira, M., Diniz, M. & Arias, P. (2022). Late Mesolithic lost environments: multidisciplinary approach to characterise the palaeoenvironmental conditions of the Sado valley during the Early-Middle Holocene transition (Portugal). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 598, 111015.

Evolução dos sapais da restinga de Tróia (Estuário do Sado) considerando os cenários SSP1-2.6 e SSP5-8.5 do IPCC

Tróia sandspit (Sado estuary) salt marshes evolution, considering IPCC SSP1-2.6 and SSP5-8.5 scenarios

M. Inácio (1), M. C. Freitas (2), A. G. Cunha (2) e M. Leira (3)

(1) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Instituto Dom Luiz, mfinacio@fc.ul.pt

(2) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Instituto Dom Luiz

(3) Instituto Dom Luiz; BioCost Research Group, Universidade de A Coruña

Summary: Salt marshes are relevant intertidal wetlands because of the services they provide. They are vulnerable to climate change's impacts, particularly sea-level rise (SLR). In this abstract, the evolution of Tróia sandspit salt marshes (Sado Estuary, Portugal) was projected using the Simplified Marsh Response Model (SMRM) with IPCC SSP1-2.6 and SSP5-8.5 SLR scenarios. The results show area losses between 7% and 32% by 2100 and a generalized transition from high marsh to low marsh areas. The area losses are about twice as high as those obtained with the scenarios of the IPCC 5th assessment report.

Key words: modelling, sea-level rise, sedimentation rates, salt marshes

Palavras-chave: modelação, subida do nível do mar, taxas de sedimentação, sapais

Sapais são ambientes intertidais ecologicamente importantes. São a primeira barreira da linha de costa e filtradores da qualidade da água em ambientes estuarinos, englobam elevada biodiversidade e armazenam grandes quantidades de carbono orgânico. No entanto, os sapais são áreas vulneráveis às alterações climáticas, particularmente à subida do nível médio do mar (NMM).

Este trabalho tem como objetivo quantificar a evolução dos sapais da margem estuarina da restinga de Tróia, considerando projeções de subida do NMM do 6º relatório do IPCC (IPCC, 2021). Esta restinga arenosa localiza-se no Estuário do Sado, 40 km a sul de Lisboa. Nela encontram-se três grupos de sapais: Caldeira de Tróia (norte – CTN; sul – CTS), Malha da Costa (norte – MCN; sul – CTS) e Tróia-Comporta (norte – TCN; sul – TCS), ocupando 97 ha de área, com um rácio entre o alto sapal (AS) e o baixo sapal (BS) de 5.6 (AS/BS).

A projeção da evolução dos sapais em estudo foi realizada com recurso ao Simplified Marsh Response Model (SMRM) (Inácio *et al.*, 2022a). Quatro parâmetros iniciais foram considerados: (1) modelo digital de terreno de elevada resolução (1 m); (2) níveis de maré local, representando as transições entre subambientes (0.90 m para limite inferior do BS (em relação ao NMM); 1.26 m para BS/AS; 1.60 m para limite superior do AS); (3) taxas de

sedimentação (Raso de maré = 2.73 mm/ano; BS e AS = 2.92 mm/ano – Inácio *et al.* (2022a)); (4) cenários de subida do NMM (IPCC SSP1-2.6 e SSP5-8.5, com subida do NMM de 0.60 m e 0.94 m até 2100, respetivamente), incluindo taxa inicial e aceleração.

Os resultados das projeções realizadas encontram-se representados na Fig. 1. Considerando o cenário SSP1-2.6, não são esperadas perdas de área até 2050 e até 2100 são esperadas perdas de 7%. O rácio AS/BS será reduzido para 2.0 (-65%). Com o cenário SSP5-8.5 é esperada uma perda de área de 7% até 2050 e 32% até 2100. O rácio AS/BS deverá ser reduzido para 0.2, indicando dominância do BS. Globalmente, as perdas de área não serão muito elevadas, mas a transição de AS para BS será generalizada, sendo um indicador de que os sapais da restinga de Tróia vão deixar de conseguir responder à subida do NMM até ao final do século. Os resultados apresentados correspondem a uma versão atualizada de valores apresentados anteriormente com projeções do 5º relatório do IPCC (Inácio *et al.*, 2022b), em que foram estimadas perdas de 15% em área até 2100 e redução do rácio AS/BS para 1.3 com o cenário RCP8.5. Os novos resultados indicam que a projeção SSP5-8.5 do novo relatório do IPCC terá maior impacto na redução destas áreas de tão elevada importância ecológica.

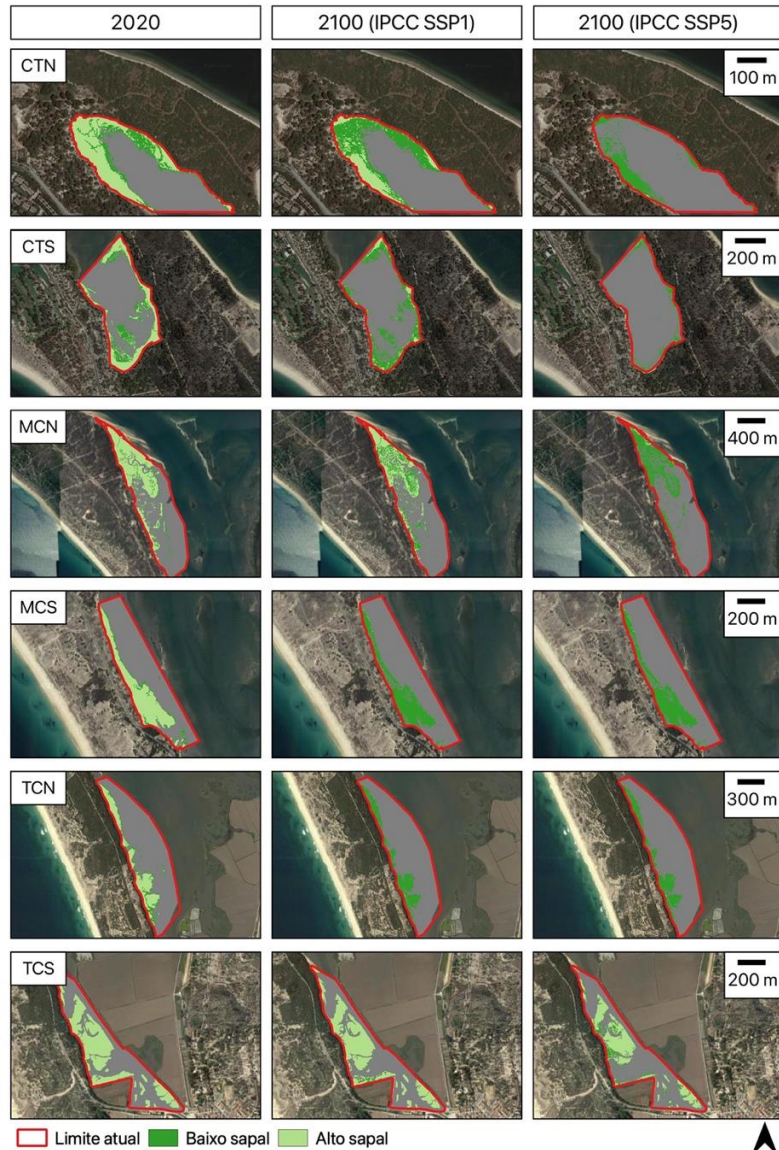


Fig. 1. Evolução dos sapais da restinga de Tróia considerando os cenários IPCC SSP1-2.6 e SSP5-8.5 para 2100.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) – UIDB/50019/2020, pelo projeto CLIMARES (PTDC/CTA-GEO/28412/2017) e pelas bolsas de doutoramento PD/BD/142781/2018 e PD/BD/106074/2015.

Referências

- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.
- Inácio, M., Freitas, M. C., Cunha, A. G., Antunes, C., Leira, M., Lopes, V., Andrade, C., et al. (2022a). Simplified Marsh Response Model (SMRM): A Methodological Approach to Quantify the Evolution of Salt Marshes in a Sea-Level Rise Context. *Remote Sensing*, 14(14), 3400. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/rs14143400>.
- Inácio, M., Cunha, A.G., Freitas, M.C., Lopes, V., Leira, M., Andrade, C. (2022b). Projecting the evolution of marsh areas: the importance of proximal terrestrial areas (Tróia sandspit, Portugal). *6ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, MEC2022*, Lisboa, Portugal.

Patterns of sediment distribution on the Portuguese southeastern coast

Padrões de distribuição sedimentar na costa sudeste portuguesa

S. Nave (1) and L. Rebêlo

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia, IP., Estrada da Portela, Apt. 7586, Alfragide; silvia.nave@Ineg.pt

Sumário: *A granulometria dos sedimentos pode fornecer informações importantes sobre a origem e evolução dos ambientes sedimentares da zona costeira.*

Este trabalho apresenta a distribuição espacial da granulometria dos sedimentos no sotavento algarvio, resultante da análise de 395 amostras recolhidas em 133 perfis posicionados ao longo de uma faixa de 55km, desde a península do Ancão até Vila Real de Santo António.

A análise preliminar dos resultados, apresentados em função do valor da média e agrupados nas classes normalizadas da escala de tamanho de grão (classificação de Wentworth), revela a ausência das classes granulométricas de areia muito fina e fina, mesmo na zona dunar, onde a classe de areia média domina no sector leste, e a de areia grosseira, no sector ocidental.

O padrão geral de distribuição espacial da granulometria dos sedimentos exhibe uma variação distinta ao longo da área de estudo, decorrente da exposição aos principais agentes forçadores (ondas e correntes).

Palavras-chave: *Distribuição granulométrica, Dinâmica costeira, Ilhas-barreira, Litoral português, Algarve*

Key words: Grain-size distribution, Coastal dynamics, Barrier islands, Portuguese coast, Algarve

The need of an increasing knowledge of the littoral dynamic processes, has been progressively growing, in parallel with the reported evidence of the urgent need of adaptation to the climate change scenarios. Thus, a holistic approach on the understanding of coastal dynamics is crucial for an effective adaptive coastal governance, under the inevitable consequences on coastal zones.

Sediment characterization as a tool to infer sediment sources, transport, and natural dynamics of coastal sediments, is among some of the important aspects that constitute a valuable information for an efficacious planning and management of shore areas.

The eastern southern Portuguese coast, which is the focus of the current work, is a low-lying sandy shore, comprising a complex and highly dynamic barrier island system, that culminates at the Guadiana River mouth (Fig. 1-A).

The coastline evolution at this region depends on many processes such as the shoreline retreat, longshore drift, overwash, dune building, tidal delta incorporation, inlet- associated processes and, with a negligible effect for the Ria Formosa barrier islands system, the erosion of backbarrier regions of the islands by spring tides (Andrade, 1990). Moreover, human activities induced relevant changes on coastal behaviour during the last decades, increasing processes complexity and hampering the understanding of coastal evolution (Ferreira *et al.*, 2016).

This study was made within the “Geological and Coastal Hazard Mapping at a 1:3000 resolution scale” programme, developed by the Portuguese National Laboratory of Energy and Geology (Nave and Rebêlo 2018) [<https://geoportal.Ineg.pt/mapa/?escala=4000000&mapa=geologiacosteira#>].

A total of 395 samples were collected in April 2019, during a 2 week-field operation where, besides samples and images, 133 beach profiles, spaced 500 meters, were measured between Ancão peninsula and Guadiana River mouth. In each profile 3 samples were taken, at dune-beach-surf zone system, for sedimentary characterization (Fig. 1-B).

The results of grain-size data are presented as average value and were clustered into the normalized classes of the grain-size scale (Wentworth classification). The minimum grain size average value for the analysed fraction of the total amount of samples is 252 μm , and the maximum value is 1344 μm , leading to a class range between medium sand and very coarse sand. Coefficient of Variation (C.V.), determined by the method of moments, varies between 0,27 and 0,72. Most of the analysed samples stand at between very well sorted and moderately well sorted.

Grain-size data from dune, beach, and surf zone system from Ancão Peninsula to Guadiana River mouth shows that sediment distribution is controlled mainly by the type and proximity to the

sediment sources, and by prevailing coastal dynamics (such as waves, currents, and wind). Patterns of sediment distribution at the westernmost sector, with coarser grain-size, are controlled mainly by sediment sources from cliff erosion, between Garrão and Quarteira, that is incorporated in the littoral drift and redistributed eastward along the coast. The overwash events at this high-energy western sector also explains the coarser grain size patterns at dune environment.

Sediment pattern eastwards, in the vicinity of Cape Sta. Maria, is similar to the observed westwards of the cape, as it is exposed to energetic wave regimes and reveal similar sediment sources. At Ria Formosa barrier island system sediment patterns seems to be forced by inlets sediment dynamics. The sector from Cacela inlet to Guadiana River mouth shows a sediment pattern driven by the influence of Guadiana River discharges, constituting the main source of sediments at this segment.

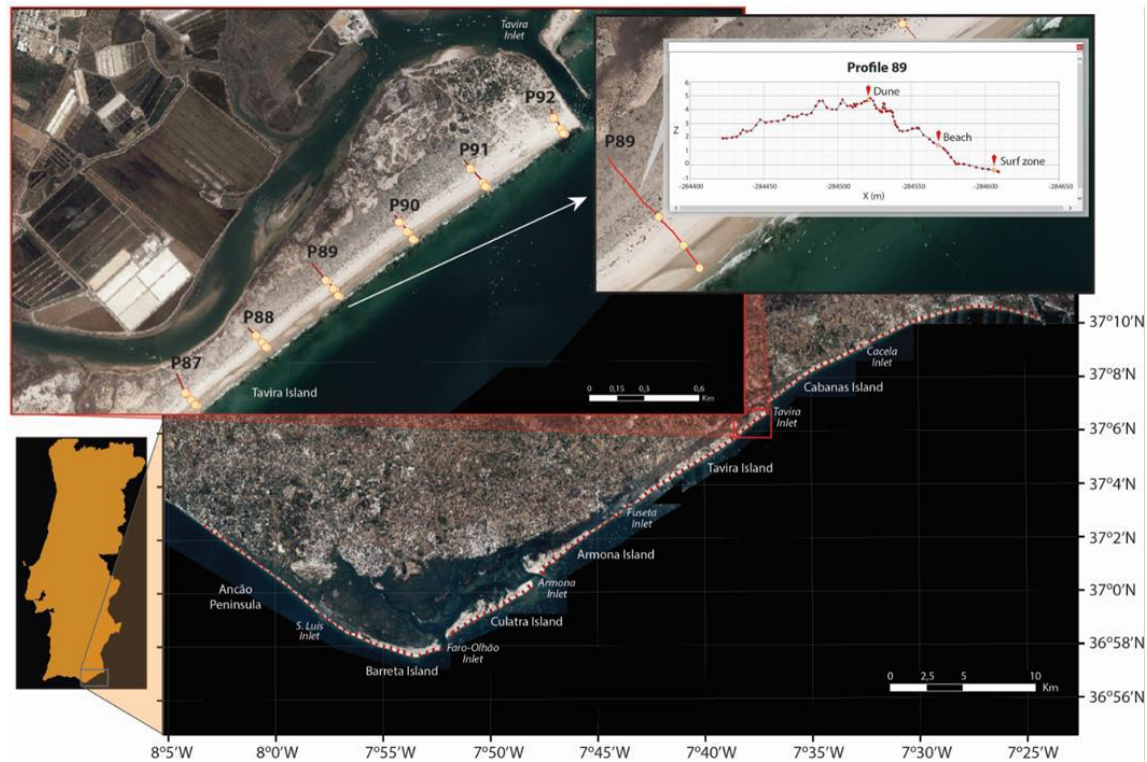


Fig. 1. A- Study area and location of the 133 profiles, spaced approximately 500 m, and positioned between Ancão peninsula and Guadiana River mouth. B- Example of the location of the samples collected at each profile, using as reference profile P89 positioned at Tavira island. Background photo retrieved from the WMS service from DGT: Ortofotos 25 cm – Mainland Portugal – 2018.

Acknowledgements: Sofia Rodrigues for her commitment and professionalism in carrying out the granulometric analyzes carried out at the LNEG Sedimentology Laboratory, under the service provision contract signed with Synege. This study was carried out under the GPGE2020 project [POCI-02-0550-FEDER-022222] through the Portugal 2020 program and the European Structural and Investment Funds of the European Union.

References

- Andrade C. F. (1990) O Ambiente de Barreira da Ria Formosa (Algarve-Portugal). PhD, Univ. de Lisboa.
- Ferreira Ó., Matias A., Pacheco A. (2016) The East Coast of Algarve: a Barrier Island Dominated Coast. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 32: 75-85 doi:10.1007/s41208-016-0010-1.
- Nave S., Rebêlo L. (2018) High-resolution geological cartography and coastal evolution assessment at Armação de Pêra – Galé sector: a prototype for a national coastal mapping. *Journal of Coastal Conservation*, 22: 1031-1043. doi: 10.1007/s11852-018-0612-2.

Sedimentology and ichnology of middle to lower reaches of the mud-dominated Mira River estuary, Portugal

Análise da icnologia do estuário médio e inferior do rio Mira (Portugal): correlação com os sedimentos e os parâmetros físico-químicos da água

A. Shchepetkina (1,2), T. Drago (3,2), C. Freitas (2) and F. Fatela (2)

(1) University of Western Ontario, London, ON, Canada, ashchep@uwo.ca

(2) Instituto Dom Luiz, D. Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

(3) Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Tavira, Portugal

Sumário: Neste trabalho apresentam-se os resultados de uma análise icnológica preliminar, obtida a partir da observação de tocas, e de outros traços de actividade, da mesofauna presente nos rasos de maré do estuário do rio Mira, entre a superfície e ~1 m de profundidade, em zonas situadas a 2 km e a 14 km a montante da desembocadura. Além da medição in-situ dos parâmetros físico-químicos da água, utilizaram-se vários métodos de análise sedimentológica e de imagem (e.g., RX, tomografia computadorizada, granulometria, teor em MO e carbonatos, ImageJ). O estudo destes análogos actuais permitiu identificar varios tipos de icnofósseis, cuja distribuição e densidade estão relacionadas com o gradiente dos parâmetros físico-químicos, as características do sedimento e as condições hidrodinâmicas do estuário. Revela-se assim o valor paleoambiental destes estudos, que se vem juntar às ferramentas de interpretação do registo sedimentar e de reconstituição da evolução dos estuários.

Palavras-chave: icnofósseis, ambiente sedimentar moderno, Rio Mira, tomografia computadorizada

Key words: ichnofossils, sedimentology, modern sedimentary environment, Mira River estuary, computed tomography

The Mira River estuary (37°40' N, 8°40' W) is a small to medium, narrow, almost pristine coastal plain estuary in the Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina Natural Park, SW Portugal (Fig. 1A), that debouches into the Atlantic Ocean. The estuary is mesotidal, characterized by semi-diurnal tides with a mean tidal range of 2.4 m (Blanton and Andrade, 2001; Moreno et al., 2017; Duarte et al., 2020). The salt wedge propagates up to 32 km upstream in summer (Bettencourt et al., 2004; Moreno et al., 2017), with the dynamic tide extending almost 40 km inland (Costa et al., 2001). The freshwater inflow is seasonal and low (2.9–10 m³/s), and close to 0 m³/s in dry years (Costa et al., 2001; Ferreira et al., 2003). Two study sites chosen within the lower (~2 km) and middle (~14 km) reaches of the Mira River estuary (Fig. 1B) have been scrutinized to construct a facies model (analog) for the sedimentary record and determine the controls of physico-chemical stresses on animal behaviour and resultant burrows. A number of field and laboratory methods were applied to the modern-day estuarine deposits, including observations of physical and biogenic sedimentary structures on the tidal flats, description of trace markers, collection of grab samples along the transects perpendicular to the tidal flats and short push cores (~1 m long), non-destructive X-ray and

computed tomography (CT) of the whole-round cores, granulometric analyses of coarse and fine fractions, as well as organic and carbonate content. Burrow distribution, density, total area, and min and max burrow diameters were quantified using ImageJ (Fig. 2)—a public domain Java image processing and analysis program. CT scanning allowed for superior estimation of trace-fossil suites, preservation potential of individual burrows, and infaunal tiering. The conducted analyses show that as the sediment size increases from muddy sand in the middle estuary to sand and gravelly muddy sand in the outer estuary, salinity increases while temperature, water oxygenation, and pH decrease. These physico-chemical parameter trends are accompanied by an increase in minimum and maximum burrow sizes and a decrease in total burrow counts per square meter. The dominant trace-fossil suites also change down the estuary: from *Skolithos*-, *Polykladichnus*-, *Planolites*-, *Arenicolites*-/ *Diplocraterion*-, *Scalichnus*-, and *Psilonichnus*-like burrows to the community predominated by *Siphonichnus*/ *Scalichnus*-, *Arenicolites*-/ *Diplocraterion*-, *Curvolichnus*-, and *Cochlichnus*-like traces with lesser amounts of *Skolithos*-, *Polykladichnus*-, *Planolites*-, and *Psilonichnus*-like burrows. These trends in ichnofossil communities change spatially and temporally along

the Mira River estuary reflecting a strong physico-chemical gradient, i.e., changes in sediment

composition, substrate consistency, salinity, tidal and fluvial hydraulic energy, and temperature.

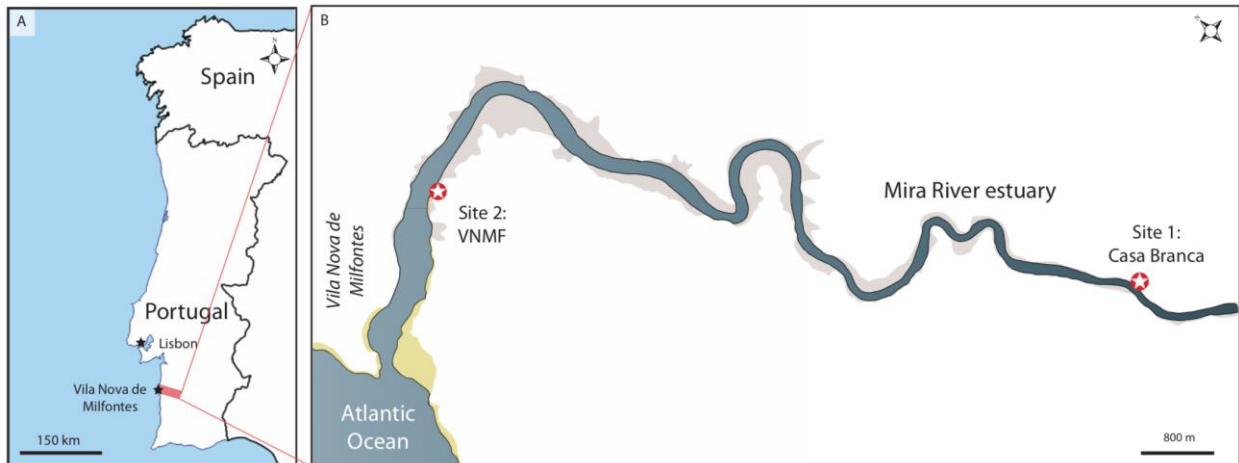


Fig. 1. (A) Regional map of the Iberian Peninsula showing the location of the study area in southwestern Portugal. (B) Close-up of (A), with locations of the study sites in the Mira River estuary.

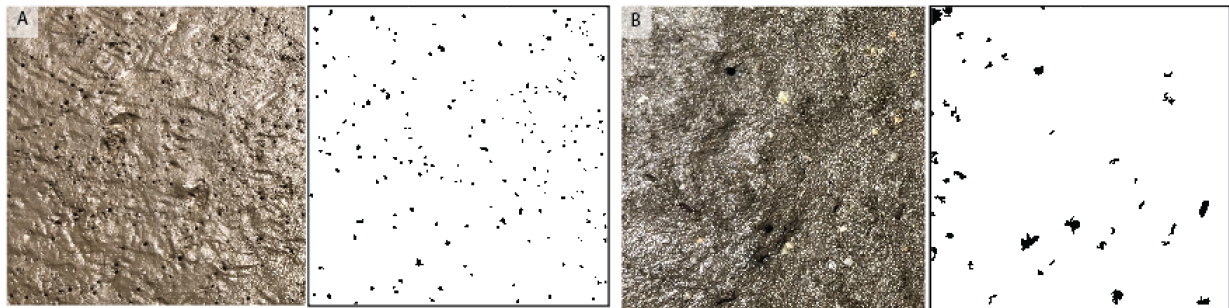


Fig. 2. Calculation of burrow distribution, density, total area, and min and max burrow diameter parameters using "Mask" function in ImageJ for the middle (A) and lower estuarine locations (B).

Acknowledgements: The authors would like to thank a Ph.D. candidate Ana Alberto for performing the X-ray and CT images at IPMA Tavira. This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds (PIDDAC)–UIDB/50019/2020-IDL and the project EMSO-PT (PINFRA/22157/2016).

References

- Bettencourt, A., Bricker, S.B., Ferreira, J.G., Franco, A., Marques, J.C., Melo, J.J., Nobre, A., Ramos, L., Reis, C.S., Salas, F., Silva, M.C., Simas, T., & Wolff, W.J. (2004). Typology and Reference Conditions for Portuguese Transitional and Coastal Waters (TICOR). Lisboa, Portugal.
- Blanton, J.O., & Andrade, F.A. (2001). Distortion of tidal currents and the lateral transfer of salt in a shallow coastal plain estuary (O Estuário do Mira, Portugal). *Estuaries*, 24(3), 467–480.
- Costa, M.J., Catarino, F., & Bettencourt, A. (2001). The role of salt marshes in the Mira estuary (Portugal). *Wetland Ecology and Management*, 9(2), 121–134.
- Duarte, B., Manjate, E., & Caçador, I. (2020). Baseline Survey on the Accumulation of Microdebris in the Intertidal Sediments of a Reference Estuarine System (Mira Estuary, Portugal). *Oceans*, 1(2), 47–55.
- Ferreira, J.G., Simas, T., Nobre, A., Silva, M.C., Shifferegger, K., & Lencart-Silva, J. (2003). Identification of sensitive areas and vulnerable zones in transitional and coastal Portuguese systems. In: Application of the United States National Estuarine Eutrophication Assessment to the Minho, Lima, Douro, Ria de Aveiro, Mondego, Tagus, Sado, Mira, Ria Formosa and Guadiana Systems. Instituto da Água e Instituto do Mar, Lisboa, Portugal.
- Moreno, J., Fatela, F., Leorri, E., Moreno, F., Freitas, M.C., Valente, T., Araújo, M.F., Gómez-Navarro, J.J., Guise, L., & Blake, W.H. (2017). Bromine soil/sediment enrichment in tidal salt marshes as a potential indicator of climate changes driven by solar activity: New insights from W coast Portuguese estuaries. *Science of the Total Environment*, 580, 324–338.

A cobertura sedimentar da plataforma continental do barlavento algarvio: análise sismo-estratigráfica e evolução recente

The sedimentary cover of the western Algarve continental shelf: seismic-stratigraphic analysis and recent evolution

A. Vinhas (1) e A. Rodrigues (1,2)

(1) IH | Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, Portugal, andre.costa@hidrografico.pt

(2) IDL | Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal.

Summary: *Based on seismic-stratigraphy criteria, applied to the basal reflector of the superficial seismic units of the Barlavento Algarvio Continental shelf, morphological elements interpreted as traces of ancient paleo-littorals were recognized and mapped. As such, the location at which these traces are concentrated were interpreted as paleo-littorals, during the last deglaciation period. At the study shelf, these morphologic traces were recognized at the following depths ranges: 110 m, 90/80 m, 75/55 m and in the shallowest zone up to 45 m. These topographic levels are compatible with the evolutionary model of the position of the mean sea level, for the last 18,000 years (Dias, 1987), and allow explaining the stratigraphic sequence of the sedimentary layer that characterizes this sector of the Portuguese margin.*

Key words: *Post-glacial evolution, seismic-stratigraphy, sedimentary cover, continental shelf, Barlavento Algarvio.*

Palavras-chave: Evolução pós-glaciária, sismo-estratigrafia, cobertura sedimentar, plataforma continental, Barlavento Algarvio.

A camada sedimentar que cobre a zona costeira dos oceanos, resulta da ação dos diversos processos de geodinâmica externa, os quais estão em permanente alteração. O fornecimento das partículas terrígenas e os processos de distribuição que as mantêm em movimento até sedimentar, estão em estreita ligação com a posição do nível médio do mar e dos agentes climatéricos. Esta relação é observada na atualidade e, mediante o estudo estratigráfico da camada sedimentar, pode ser deduzida para o período após o último Máximo Glaciário (UMG), altura em que o nível médio do mar se encontrava mais baixo que o atual e a plataforma continental se encontrava exposta aos processos de erosão subaérea (Dias, 1987).

Este trabalho foca-se na camada sedimentar da plataforma continental do Barlavento Algarvio, descrevendo-se a sequência sismo-estratigráfica e propondo-se um modelo da evolução recente.

O setor da margem continental algarvia (MCA), mais concretamente a plataforma continental entre o cabo de São Vicente e Albufeira, localiza-se na fachada sul de Portugal continental, delimitando setentrionalmente o Golfo de Cádiz. A sua evolução geológica é controlada pela proximidade à fronteira entre as placas Núbica e Euroasiática e pela ação dos fatores de geodinâmica externa, em contexto similar ao das outras regiões do Golfo de Cádiz. Assim, de acordo com a cartografia geológica

publicada (SPG, 1992), na área imersa afloram três unidades geológicas, com idade compreendidas entre o Plio-Quaternário e formações do Mesozóico indiferenciado (Cretácico-Jurássico Sup.), afetadas por sucessivas fases de deformação que resultaram da complexa evolução deste setor da Península Ibérica. Sobre estas formações, a camada sedimentar recente tem natureza variável (IH, 2009). A génese e a distribuição dos depósitos sedimentares da MCA, em especial no seu setor menos profundo, estão relacionadas com a evolução dos ambientes sedimentares ocorrida desde o UMG, ou seja, desde há 20 000 anos (Dias *et al.*, 2000). Com base em dados da plataforma continental portuguesa, Dias (1987) e Dias *et al.* (2000) apresentaram uma curva de variação do nível médio do mar (NMM) desde a altura em que a sua cota era mais baixa (em média entre os -120/-140 m) até ao nível atual, compreendendo 5 etapas distintas (Dias *et al.*, 2000). Como resultado, o ambiente sedimentar marinho, em especial os sistemas fluviais, estuarinos e costeiros estiveram em constante adaptação e mudança, refletida nos processos de dinâmica sedimentar (fornecimento, distribuição e acumulação de sedimentos).

Para a descrição sismo-estratigráfica da sequência sísmica foram processadas e interpretadas 70 linhas de reflexão sísmica monocal canal *Boomer*, segundo uma malha regular e uniforme, obtidas numa campanha promovida pelo Instituto Hidrográfico

em 2019, a bordo do NRP “Andrómeda”. No processo de interpretação, foram definidos os refletores do topo e da base das principais unidades sísmicas, e identificados elementos morfológicos atribuídos à ação modeladora dos agentes de erosão costeira.

Assim, definida abaixo do refletor que materializa a Base da Cobertura Sedimentar (BCS), a unidade sísmica SR (Soco Rochoso) é caracterizada por reflexões acústicas moderadamente contínuas, sub-paralelas entre si e de média-baixa amplitude. Sobre o refletor BCS, a unidade sísmica mais recente (S1), interpretada como a camada sedimentar recente, é delimitada no topo pelo refletor *Bottom* (o fundo marinho). A espessura desta unidade foi avaliada por interpolação do tempo de distância vertical entre os refletores BCS e *Bottom*, convertida em linhas de igual espessura vertical (assumiu-se uma velocidade média de propagação do som em sedimentos de cerca de 1650 m/s). Como resultado, foi possível conhecer a distribuição espacial da cobertura sedimentar recente sobre o substrato mais antigo e verificar a sua relativa pequena possança. No interior da unidade S1, individualizaram-se 3 subunidades sísmicas (S1U1, S1U2 e S1U3, sendo que esta última se subdivide em 2 subunidades mais pequenas), separadas pelos refletores internos R1 e R2, com características acústicas muito semelhantes entre elas (reflexões sub-paralelas, de baixa-média continuidade e de baixa amplitude). As duas subunidades mais superficiais (S1U3a e S1U3b) estão separadas pelo refletor R2a. A subunidade mais superficial (S1U3a) apresenta refletores internos com boa continuidade e é aquela que cobre a maior área do setor estudado.

Com base na descrição dos elementos morfológicos reconhecidos no refletor BCS e fossilizados pelas unidades sísmicas S1, constatou-se que os principais elementos geomorfológicos são constituídos por “terraços” ou “escalamentos”, classificados, de

acordo com a sua configuração e profundidade de ocorrência, em: 1) paleo-plataformas de abrasão: superfícies aplanadas, com extensões superiores a 500 m; 2) paleo-terraços: superfícies aplanadas, com extensões inferiores à centena de metros; 3) paleo-arribas: zonas onde se observa uma quebra abrupta da superfície, por vezes associadas a estruturas do tipo falha; 4) quebras de pendor: locais onde se observa uma variação da inclinação da superfície, sendo a mais evidente o atual bordo da plataforma. A origem destes elementos morfológicos foi atribuída ao efeito abrasivo da agitação marítima durante as oscilações eustáticas do último ciclo regressivo, conjugado com uma herança de regressões anteriores e com movimentos verticais da crosta. Considerando estes processos, observou-se que os elementos morfológicos atrás referidos se distribuem por 4 intervalos de profundidade distintos (T1 entre os -130 a -110 m, T2 entre os -90 e -80 m, T3 entre os -75 e -55 m, T4 até aos -45 m), coincidindo com os principais estádios evolutivos das posições relativas do NMM desde o UMG, durante a contínua migração dos ambientes litorais, desde a posição mais distal, até à posição atual. No interior da unidade S1, as subunidades sísmicas refletem esta evolução sedimentar, conforme deduzido pela contínua mudança de fácies sedimentar, culminando com os depósitos sedimentares que atualmente caracterizam a cobertura sedimentar neste sector da plataforma continental.

Como considerações finais, deve ser dito que este é um modelo definido unicamente a partir da interpretação sismo-estratigráfica de um conjunto de perfis distribuídos segundo uma malha regular. O modelo apresentado aplica-se ao sector da plataforma continental compreendido entre o cabo de São Vicente e Albufeira, utilizando a curva de variação do NMM definida por Dias (1987), sendo necessária a sua confirmação ou infirmação com dados e informações adicionais.

Agradecimentos: Este é um contributo do programa SEDMAR (“*Mapeamento dos sedimentos marinhos da margem portuguesa*”), em execução no Instituto Hidrográfico

Referências:

- Dias, J. M. A. (1987). Dinâmica sedimentar e evolução recente da plataforma continental setentrional. Dissertação para obtenção do grau de Doutoramento. Universidade de Lisboa, Lisboa. 384 pp. (não publicado).
- Dias, J.M.A.; Boski, T.; Rodrigues, A.; Magalhães, F. (2000). Cost line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present – a synthesis. *Marine Geology* 170, PII: S0025-3227(00)00073-6, pp. 177-186.
- Instituto Hidrográfico (2009). Sedimentos superficiais da plataforma continental. Folha SED7 e 8 (Cabo de São Vicente ao Rio Guadiana), esc. 1:150 000, 2ª Edição.
- Serviços Geológicos de Portugal (1992). Carta Geológica de Portugal na escala 1: 500 000

SESSÃO CIENTÍFICA 5 (SC_5)
(Estratigrafia e Análise de Bacias Sedimentares)

Conveners: Cristina Azerêdo; Luís Victor Duarte; Paulo Fernandes

Análise de heterogeneidade em rochas carbonatadas a diferentes escalas de observação, em casos de estudo de afloramento (Jurássico Médio, Portugal) e de subsuperfície (Cretácico Inferior, E.A.U.)

Addressing carbonate heterogeneity at different observation scales in case studies of outcrop (Middle Jurassic, Portugal) and subsurface (Lower Cretaceous, U.A.E.)

J. Barata (1), A. C. Azerêdo (2), J. Gomes (3) e L. V. Duarte (1)

(1) Universidade de Coimbra, MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente e ARNET, Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Portugal. jobarata@gmail.com

(2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia e Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz (IDL) – Portugal.

(3) Abu Dhabi National Oil Company (ADNOC), United Arab Emirates.

Summary: *Conducting multi-scale analysis of carbonate sedimentary successions is indispensable for a better understanding of the primary controls on rock heterogeneity. Two shallow-water carbonate outcrop and subsurface case studies were analyzed. The outcrop case study (Middle Jurassic Santo António-Candeeiros Formation, Lusitanian Basin, Portugal) shows considerable large-scale continuity in major depositional cycles and tabular bodies and more substantial small-scale variability in wedge-like, lenticular bodies and coral buildups. The subsurface case study (Lower Cretaceous Upper Kharaiib member, Rub Al Khali Basin, U.A.E.) shows strong continuity of large-scale depositional packages at kilometer-scale and strong heterogeneity at centimeter-meter scale, in discontinuity-bounded wedge-like or lenticular bodies. Depositional controls drive rock properties heterogeneity, as related to hydrodynamics and the balance between carbonate factory productivity and accommodation space, affecting lateral facies migration and creating complex depositional patterns, perceived differently depending on the observation scale.*

Key words: *Multi-scale heterogeneity, shallow-water carbonates, outcrop vs subsurface, Abu Dhabi, Portugal.*

Palavras-chave: Heterogeneidade multi-escala, rochas carbonatadas de águas pouco profundas, afloramento vs subsuperfície, Abu Dhabi, Portugal.

As rochas carbonatadas são conhecidas pela elevada heterogeneidade evidenciada nos seus parâmetros petrográficos e petrofísicos. Casos de estudo em afloramento permitem observações diretas sobre a variação lateral de fácies e geometrias deposicionais. Em casos de estudo de subsuperfície, os dados são limitados a sondagens, o que aumenta a complexidade na correlação e caracterização litológica. Uma análise multi-escala integrando dados petrográficos e petrofísicos é indispensável para melhor perceber os fatores geológicos que controlam a heterogeneidade das rochas carbonatadas às diferentes escalas. Neste contexto, dois casos de estudo foram analisados: a Formação de Santo António-Candeeiros do Batoniano-Caloviano na região do Maciço Calcário Estremenho (MCE), Bacia Lusitânica central, Portugal, e o Membro Upper Kharaiib (UKM) do Barremiano na subsuperfície de Abu Dhabi, Bacia de Rub Al Khali, E.A.U. O estudo tem como objetivo procurar um melhor entendimento dos controlos sedimentares na variação de geometrias deposicionais, fácies e propriedades

petrofísicas nestes casos. Para atingir estes objetivos, foram analisados vários afloramentos em pedreiras no MCE e dados de 4 poços no *onshore* de Abu Dhabi (Barata et al., 2022), focando-se aqui aspetos específicos selecionados. A Formação de Santo António-Candeeiros, caracteriza-se na generalidade por texturas deposicionais e fácies de rampa interna que refletem ambientes de alta energia (e.g. Azerêdo, 1998, 2007). Estas fácies apresentam potencial como fácies de reservatório, considerando as texturas deposicionais e porosidade localmente preservada (e.g. Azerêdo et al., 2020). A análise de frentes recentes em pedreiras permite a observação de geometrias deposicionais a um nível de detalhe que não é possível em afloramentos deteriorados. A grande escala, observa-se a continuidade lateral de unidades deposicionais nos membros de Codaçal e de Pé da Pedreira. À escala centimétrica-métrica, verifica-se maior variabilidade de fácies e geometrias. Na zona de Codaçal, a sucessão aflorante do Membro de Codaçal evolui de um intervalo basal com geometrias tabulares e em cunha com estratificação

cruzada, para um intervalo de corpos lenticulares oolíticos e, para o topo, biostromas isolados ricos em corais, que passam lateralmente a intercalações decimétricas de *grainstones* e *rudstones* (Fig.1).

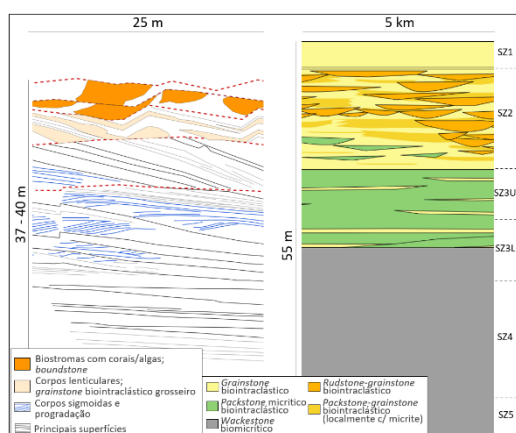


Fig.1 – Esquerda: Membro de Codaçal na zona de Codaçal, MCE, Portugal. Grainstones oolíticos/biointraclásticos, corpos lenticulares de grainstones/rudstones biointraclásticos mais grosseiros. Direita: UKM, Abu Dhabi, E.A.U. Geometrias tabulares na metade inferior, corpos lenticulares e em cunha na metade superior, com fácies packstone-grainstone-rudstone.

No caso de estudo de Abu Dhabi, o UKM caracteriza-se por fácies de rampa intermédia a interna (*wackestones* biomicríticos, *packstones* biointraclásticos, *grainstones* e *rudstone-grainstones*

biointraclásticos), mostrando grande continuidade lateral entre poços dos conjuntos informais em que é subdividido (e.g. Van Buchem et al., 2002; Strohmenger et al., 2006). No entanto, na metade superior do UKM, existe maior heterogeneidade observável a pequena escala (centimétrica-métrica). Observam-se sucessões de intervalos delimitados por descontinuidades, de espessura decimétrica-métrica e granulodecrescentes para o topo que variam entre as sondagens. Infere-se, assim, uma arquitetura deposicional complexa, com corpos tabulares, em cunha e lenticulares de extensão limitada (Fig.1).

Nos dois casos, a variabilidade de fácies e de propriedades de reservatório refletem fatores deposicionais relacionados com a hidrodinâmica do ambiente deposicional e a relação entre produtividade e espaço de acomodação que controlam a migração lateral de fácies. As variações a pequena escala são de elevada complexidade, ainda que se observe continuidade moderada a maiores escalas. Os casos analisados são exemplos de como a percepção da heterogeneidade em sistemas carbonatados varia com a escala de observação. Neste contexto, a análise da variabilidade de fácies a diferentes escalas é de grande importância para os estudos de caracterização de reservatórios e propagação (estimação/simulação) de heterogeneidade em modelos geológicos.

Agradecimentos: À ADNOC (Abu Dhabi National Oil Company) pelo acesso a dados e permissão para publicar. ACA agradece o apoio de FCT, I.P./MCTES, Fundos Nacionais (PIDDAC) - UIDB/50019/2020. JB e LVD agradecem o apoio de FCT e I.P. no âmbito dos projetos UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020, MARE e do Laboratório Associado ARNET (LA/P/0069/2020).

Referências

- Azerêdo, A.C. (1998). Geometry and facies dynamics of Middle Jurassic carbonate ramp sandbodies, West-Central Portugal. In: Wright V.P. e Burchette, T. (Eds.): Carbonate Ramps. Geological Society of London, Special Publications, 149, 281-314.
- Azerêdo, A.C. (2007). Formalização da litostratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica). Comunicações Geológicas, 94, 29-51.
- Azerêdo, A.C., Inês, N. e Bizarro, P. (2020). Carbonate reservoir outcrop analogues with a glance at pore-scale (Middle Jurassic, Lusitanian Basin, Portugal). Marine and Petroleum Geology, 20, 815-851.
- Barata, J., Azerêdo, A.C., Gomes, J. e Duarte, L.V. (2022). Multi-scale analysis of shallow-water carbonate depositional geometries from a reservoir perspective: Insights from outcrop (Middle Jurassic, Portugal) and subsurface (Lower Cretaceous, U.A.E.) contrasting case studies. Marine and Petroleum Geology, 140.
- Van Buchem, F.S.P., Pittet, B., Hillgärtner, H., Grötsch, J., Al Mansouri, A., Billing, I.M., Droste, H.J. e Oterdoom, W.H. (2002). High resolution sequence stratigraphic architecture of Barremian/Aptian carbonate systems in northern Oman and the United Arab Emirates (Kharai and Shu'aiba formations). GeoArabia, 7 (3), 461-500.
- Strohmenger, C.J., Weber, L.J., Ghani, A., Al-Mehsin, K., Al-Jeelani, O., Al-Mansoori, A., Al-Dayyani, T., Vaughan, L., Khan, S.A. e Mitchell, J.C. (2006). High-resolution sequence stratigraphy and reservoir characterization of Upper Thamama (Lower Cretaceous) Reservoirs of a giant Abu Dhabi oil field, United Arab Emirates. In P.M. Harris e L.J. Weber (Eds.), Giant Hydrocarbon Reservoirs of the World: From Rocks to Reservoir Characterization and Modeling. American Association of Petroleum Geologists Memoir 88, pp. 139-171.

Heterogeneidade da sucessão siliciclástico-carbonatada do topo da Formação de Cabo Carvoeiro (transição Jurássico Inferior-Médio), Bacia Lusitânica, Portugal

Heterogeneity of the mixed siliciclastic-carbonate deposits of the upper Cabo Carvoeiro Formation (Lower-Middle Jurassic), Lusitanian Basin, Portugal

J. Barata (1), L.V. Duarte (1), A.C. Azerêdo (2) e J. Gomes (3)

- (1) Universidade de Coimbra, MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente e ARNET, Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Portugal. jobarata@gmail.com
- (2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia e Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz (IDL) – Portugal.
- (3) Abu Dhabi National Oil Company (ADNOC), United Arab Emirates.

Summary: *The upper CC5 member of the Cabo Carvoeiro Formation (Toarcian-Aalenian(?)) of the Lusitanian Basin (LB) is characterized by grainstone facies with quartz grains, oolites and intraclasts. These are observed exclusively at Peniche, in contrast to the mostly hemipelagic marly sediments of coeval outcrop sections in the LB and the micritic facies of coeval sections in nearby offshore wells. A semiquantitative outcrop analysis reveals the moderate facies heterogeneity of this homogeneous grainstone succession of limited regional extension. Lateral facies variability is controlled by depositional factors and observed to occur through gradation, interfingering or pinching-out. Outcrop observations and the integration with well data illustrate this heterogeneity at different scales.*

Key words: *Carbonate heterogeneity, semi-quantitative analysis, outcrop-subsurface correlation, Jurassic, Portugal.*

Palavras-chave: Heterogeneidade em depósitos carbonatados, análise semiquantitativa, correlação afloramento- subsuperfície, Jurássico, Portugal.

Os sedimentos do sistema misto siliciclástico-carbonatado do Membro CC5 da Formação de Cabo Carvoeiro (Toarciano-Aaleniano(?)) da Bacia Lusitânica (BL) depositaram-se durante uma fase regressiva (Duarte e Soares, 2002; Duarte, 2007), num contexto tectónico complexo (e.g. Wilson et al., 1989; Rasmussen et al., 1998). Definem-se como *grainstones*, contendo intraclastos, oóides, bioclastos e grãos de quartzo com origem no bloco soerguido das Berlengas, a ocidente (e.g. Wright e Wilson, 1984; Barata et al., 2021). Esta sucessão de *grainstones* tem uma espessura mínima de 160 m e encontra-se exclusivamente em Peniche, contrastando com os depósitos hemipelágicos margosos observados na generalidade dos afloramentos da BL para o mesmo intervalo estratigráfico (e.g. Duarte, 2007). Com o objetivo de caracterizar a heterogeneidade do sistema, fez-se uma análise semiquantitativa de 107 amostras da costa ocidental e sul da península de Peniche (Fig. 1) e 63 lâminas delgadas de 2 poços *offshore* (17C-1 e 20B-1). Numa sucessão aparentemente homogénea, a análise de afloramento e o desenvolvimento de um esquema de subfácies oferece uma visão da variabilidade do volume de constituintes da rocha (Fig. 1). Estas

variações ocorrem através de transições abruptas a graduais, interdigitação e biselamento de corpos, resultantes de dinâmicas e condições deposicionais. Figuras de canal são observadas, com volumes altos de grãos de quartzo, definindo fácies de arenitos calcários (Barata et al., 2021). O volume de cimento de calcite intergranular é maior em amostras mal calibradas com menor volume de grãos de quartzo e menor em amostras com melhor calibragem. A área de cimentos diagenéticos, estimada em lâmina delgada varia entre 5% e 45%, com um valor médio de 31%. Nos poços analisados, para as secções estratigráficas equivalentes, observam-se fácies caracterizadas quase na totalidade por texturas *mudstone*, sendo praticamente ausentes as fácies *grainstone*. Interpreta-se que os sedimentos com textura *grainstone* aflorantes em Peniche passam lateralmente a *mudstones*, de forma gradual, com interdigitação de fácies e biselamento de camadas. Conclui-se que as fácies *grainstone* observadas em Peniche não se estendem para além do local dos poços, 40-45 km para sul e 15-20 km para norte. A análise detalhada de fácies deposicionais permite um melhor entendimento da heterogeneidade do sistema a pequena escala (cm-m). A integração com informação

de subsuperfície do *offshore* da BL, permite o estudo dessa variabilidade à escala regional.

Este tipo de análise semiquantitativa a diferentes escalas é importante para diferentes tipos de estudo, tal como a caracterização de rochas reservatório, onde

o entendimento da heterogeneidade da formação é indispensável para a análise dinâmica dos fluidos.

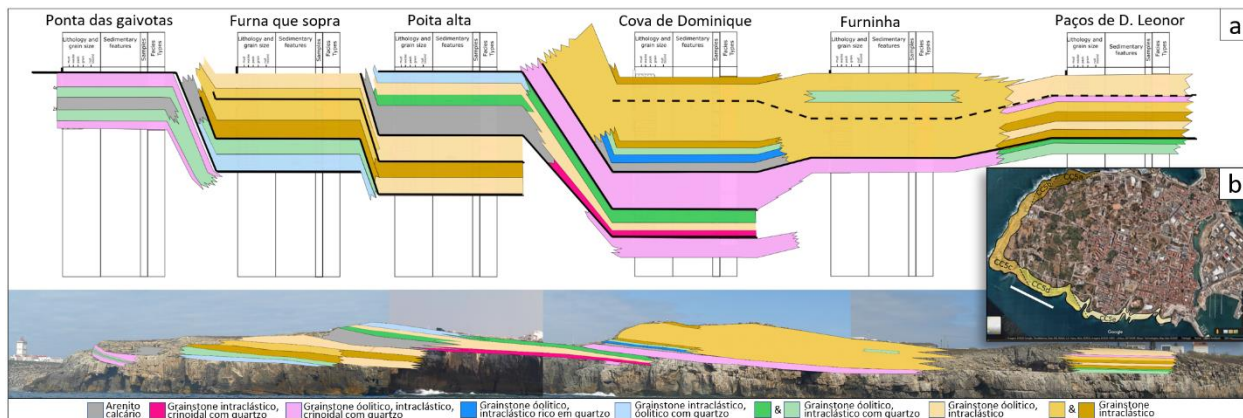


Fig.1 – a: Painel de correlação com as subfácies expostas nos afloramentos da subunidade CC5d. b: Imagem de satélite de Peniche (Google, 2020) indicando as margens onde as subunidades CC5a-CC5e do membro CC5 da Formação de Cabo Carvoeiro estão expostas (Barata et al., 2021). Linha branca indica a margem representada no painel de correlação.

Agradecimentos: Ao ENMC/UPEP (atualmente DGEG) pelo acesso a dados relatórios e laminas delgadas dos poços analisados na Bacia Lusitânica. ACA agradece o apoio de FCT, I.P./MCTES, Fundos Nacionais (PIDDAC) - UIDB/50019/2020. JB e LVD agradecem o apoio de FCT e I.P. no âmbito dos projetos UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020, MARE e do Laboratório Associado ARNET (LA/P/0069/2020).

Referências

- Barata, J., Duarte, L.V. e Azerêdo, A.C. (2021). Facies types and depositional cyclicity of a Toarcian-Aalenian(?) carbonate-siliciclastic mixed succession (Cabo Carvoeiro Formation) in the Lusitanian Basin, Portugal. *Journal of Iberian Geology*, 47, 501-534.
- Duarte, L.V. (2007). Lithostratigraphy, sequence stratigraphy and depositional setting of the Pliensbachian and Toarcian series in the Lusitanian Basin (Portugal). *Ciências da Terra*, 16, 17-23.
- Duarte, L.V. e Soares, A.F. (2002). Litostratigrafia das series margo-calcárias do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 89, 135-154.
- Rasmussen, E.S., Lomholt, S., Andersen, C. e Vejbael, O.V. (1998). Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal. *Tectonophysics*, 300, 199-225.
- Wilson, R.C.L., Hiscott, R.N., Willis, M.G. e Gradstein, F.M. (1989). The Lusitanian Basin of West Central Portugal: Mesozoic and Tertiary Tectonic, Stratigraphic, and Subsidence History. In Tankard, A. J. and Balkwill, H. (Eds.), *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins*. AAPG Memoir, 46, pp. 341-361.
- Wright, V.P. e Wilson, R.C.L. (1984). A carbonate submarine-fan sequence from the Jurassic of Portugal. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 394-412.

Serpulid-rich carbonate horizons (Barremian, W Portugal): geochemical approach

Níveis carbonatados ricos em *Serpulidae* (Barremiano, W Portugal): abordagem geoquímica

R. Coimbra (1), U. Heimhofer (2) e F. Rocha (1)

(1) Geobiotec, Dpt. of Geosciences, University of Aveiro, Portugal, rcoimbra@ua.pt

(2) Institute of Geology, Leibniz University Hannover, Germany

Sumário: *Tubos de Serpulidae presentes em elevada abundância em depósitos carbonatados do Barremiano (Ericeira, Portugal) são comparados com a sua matriz encaixante e outros restos esqueléticos, bem como com exemplos modernos refletindo uma grande variedade de ambientes costeiros abertos e mais restritos. Evidências de campo, avaliação petrográfica, análise mineralógica e geoquímica a diferentes escalas (microperfuração e análise de pontos a nano-escala) fornecem evidências independentes da assinatura característica desta variedade de materiais. O objetivo é reconstruir as condições ambientais que favoreceram a elevada abundância de tubos de Serpulidae e testar o seu potencial como marcadores de processos sin- e pós-deposicionais.*

Palavras-chave: *Depósitos carbonatados, Serpulidae, geoquímica, paleoambiente, diagénese*

Key words: Carbonate deposits, serpulid, geochemistry, paleoenvironment, diagenesis

Serpulids are sedentary polychaetes living in calcareous tubes, occurring as solitary individuals or in dense populations forming small reefs (Bianchi et al., 1995). Tube mineralogy is often calcitic, less commonly entirely aragonitic and many tubes combine a mixture of both (Smith et al., 2013; Vinn, 2021).

The conspicuous high abundance of serpulid colonies encased in specific intervals across Barremian coastal deposits belonging to the Ribeira de Ilhas Fm. outcropping at Ericeira (Portugal, Fig. 1) was investigated to unlock the paleoenvironmental conditions favouring their occurrence and test their usefulness as markers of syn to post-depositional processes. For this, high-resolution petrographic, mineralogical and geochemical characterization is performed on serpulid tubes, tube fillings, co-existing skeletal remains (e.g., oyster shell fragments), encasing matrix and late diagenetic features (e.g., recrystallized components or cemented veinlets).

In addition, modern examples are investigated by using the same techniques, including serpulid tubes and other skeletal remains collected at open marine coastal settings and more restricted coastal lagoons along the western and southern coast of Portugal. In this way, a wide array of modern environmental settings is explored.

Preliminary Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) petrography and elemental point analysis revealed similar elemental

composition for modern and ancient tubes: magnesian calcium carbonate with traces of Al and Si. This supports the notion that the contribution of detrital aluminosilicates is of relevance during biomineralization. In contrast, modern and ancient bivalve shells from the same sites do not mirror this effect, suggesting differentiated mineralization pathways. Modern and ancient tubes show persistent minor differences in Mg content (3 wt% and 1 wt%, respectively). Reduced Mg content in ancient tubes is consistent with (at least) the early diagenetic stabilization of Early Cretaceous calcareous tubes into a more stable low-Mg calcite form (Veizer, 1983). Later processes need to be evaluated using other proxies.

Bulk mineralogical analysis of matrix micrite samples collected along a 2 metres interval, including the serpulid-rich interval (marked in Fig. 1A), was performed by X-ray powder diffraction (XRD). Semi-quantitative analysis of bulk mineralogical composition revealed a decreasing trend in quartz content from 50% at the base to completely absent towards higher levels. Continental influence is therefore reduced along this sequence, from significant to negligible. Accordingly, the serpulid-rich level shows an intermediate composition of 20% quartz and 80% calcite (other minor constituents below significance level). The transitional character of this interval, from more continental to more open marine-like (distality implications not mandatory) may account for the abundance of serpulid colonies, leading to the conclusion that brackish coastal

environmental conditions would be optimal for their development. Interestingly, nearby Cenomanian lagoonal serpulid-rich deposits are also interpreted as developing under brackish conditions (Cabral et al., 2014). Comparison to other ancient and modern occurrences is pivotal to corroborate these outcomes.

Complementary information obtained from other proxies will provide new evidence to refine the

current findings. Namely, more precise ecological parameters as water-mass density (salinity and/or temperature), hydrodynamic patterns, turbidity, productivity (among others) will allow establishing the main driving forces promoting widespread serpulid development and highlight their potential as eco-stratigraphic markers.

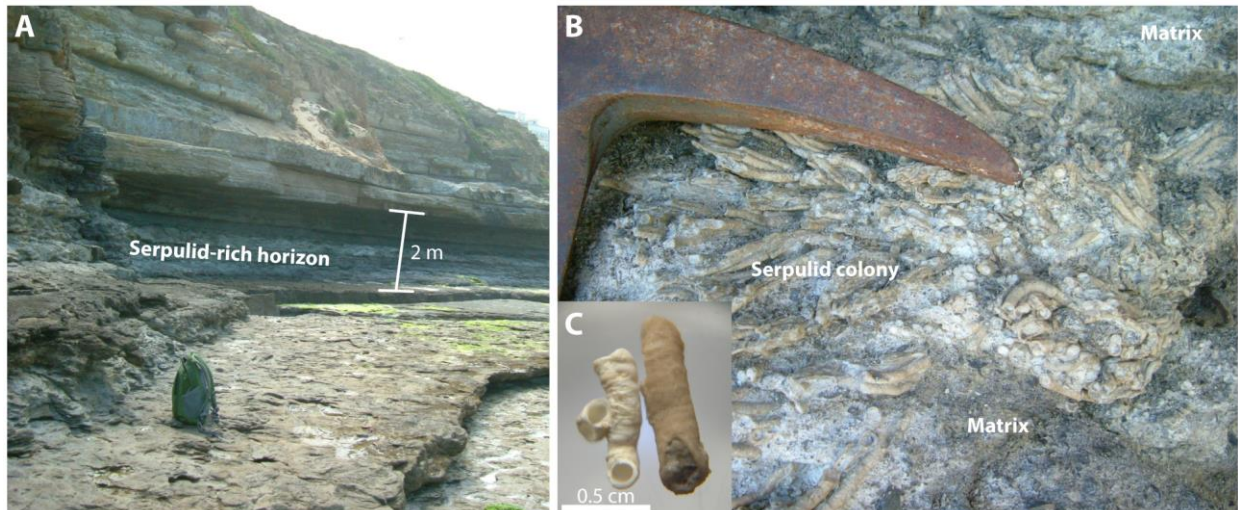


Fig. 1. Variable aspects of studied materials. A) Sedimentary interval of carbonate Barremian deposits at Ericeira, highlighting the serpulid-rich levels under scope. B) Close-up view of the typical aspect of serpulid colonies, abundantly identified throughout this carbonate bed (hammer used for scale). C) Modern and ancient serpulid tubes used for nano-scale inspection.

Acknowledgements: This research is funded by Project “Deciphering the very early phase of angiosperm evolution using palynology”, supported by DFG- German Research Foundation and UIDB/04035/2020 GeoBioTec Research Group (FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, Portugal). Cristina Sequeira is acknowledged for assisting SEM inspection and Denise Terroso by XRD processing.

References

- Bianchi, C.N., Aliani, S. & Morri, C. (1995). Present day serpulid reefs, with reference to an on-going research project on *Ficopomatus enigmaticus*. Publications du Service Géologique du Luxembourg, 29, 61-65.
- Cabral, M.C., Azerêdo, A.C., Boavida, E. (2014). Improving the palaeoecological understanding of the Lisboa–Sintra region Cenomanian units: The S. João das Lampas section. In: R. Rocha, J. Pais, J.C. Kullberg, S. Finney (eds.). *STRATI 2013, First International Congress on Stratigraphy: At the cutting edge of Stratigraphy*. Springer International Publishing, Switzerland, 1055-1060.
- Smith, A.M., Riedi, M.A. & Winter, D.J. (2013). Temperate reefs in a changing ocean: skeletal carbonate mineralogy of serpulids. *Marine Biology*, 160, 2281-2294.
- Veizer, J. (1983). Chemical analysis of carbonates: theory and application of trace element technique. In: SEPM (Ed.), *Stable isotopes in sedimentary geology*, SEPM Short Course No.10, Vol. 10. SEPM, Dallas, pp. 3/1-3/100.
- Vinn, O. (2021). Biomineralization in Polychaete Annelids: A Review. *Minerals*, 11, 1151.

Caracterização mineralógica por DRX de materiais silto-argilosos das formações de Lucula e Chela (pré-sal da Bacia do Baixo Congo, Angola)

Mineralogical characterization by XRD of silt-clay materials from the Lucula and Chela formations (pre-salt of the Lower Congo Basin, Angola)

J. Constantino (1), P. Dinis (2), V. Machado (3) e C. Landgraf (4)

(1) Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Sonangol SA, joao.constantino@sonangol.co.ao e jctino12@hotmail.com

(2) Universidade de Coimbra, MARE-Centro de Ciências do Mar e do Ambiente e ARNET - Rede de Investigação Aquática, Departamento de Ciências da Terra

(3) Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Sonangol SA

(4) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra

Summary: *The pre-salt sand-conglomerate units of the Lower Congo Basin are poorly known. This work presents mineralogical results obtained by X-ray diffraction (XRD) for fine-grained fractions of Lucula and Chela formations intercepted in deep wells (onshore and offshore) and from outcrops. These units were deposited, respectively, in alluvial-fluvial and mainly marine-fluvial environments, being sourced from regions where climatic and orographic features did not favour chemical weathering. The great compositional diversity in the silt-clay and clay fractions is justified by (1) heterogeneous feeding areas and (2) later diagenetic transformations in depth and at the surface.*

Key words: *Opening of the South Atlantic, Clay mineral assemblages, Provenance, Weathering, Diagenetic evolution*

Palavras-chave: Abertura do Atlântico Sul, Associações de minerais de argila, Proveniência, Meteorização, Evolução diagenética

O pré-sal da Bacia do Baixo Congo integra dois intervalos detríticos com boas condições de reservatório: as formações de Lucula e Chela (Braccini *et al.*, 1997). O enchimento da bacia inicia-se com a Formação de Lucula (até 450 m de espessura), com conglomerados, arenitos e lutitos que se tornam mais abundantes para o topo da unidade. Esta sucessão regista deposição por leques aluviais, passando superiormente para sistemas fluviais, e tem sido atribuída ao Títoniano-Berriasiano. A Formação de Chela, do Aptiano, é constituída maioritariamente por arenitos com intercalações lutíticas, incluindo também níveis carbonatados e evaporíticos. A unidade tem grande continuidade lateral, com espessura máxima da ordem de 90 m na zona marítima. As associações de fácies da Formação de Chela apontam para deposição em ambiente costeiro com intervalos sob influências fluviais e lacustres. A porção superior da Formação de Chela (5 a 10 m no *onshore*), de grão mais fino, parece evoluir verticalmente para a unidade salífera de Loeme (Aptiano superior).

Importantes informações sobre as condições ambientais associadas às primeiras fases de fragmentação que conduziram à abertura do Atlântico Sul e posterior evolução diagenética da

Bacia do Baixo Congo podem ser obtidas com base na composição mineralógica das frações de menor calibre. No presente trabalho damos particular atenção à proveniência sedimentar, condições climáticas e transformações diagenéticas posteriores. Um conjunto de amostras de afloramento e sondagens profundas (até ~ 4500 m) arquivadas na Agência Nacional de Petróleo Gás e Biocombustíveis (ANPG, Luanda) foi processado nos Laboratórios da Universidade Coimbra. Analisou-se a composição mineralógica da fração silto-argilosa (<63 µm de níveis arenosos e <32 µm de lutitos) e da fração argilosa (<2 µm) por difração de RX (DRX).

Traços gerais da mineralogia são apresentados na Fig. 1. A fração silto-argilosa da maioria de amostras de arenitos e lutitos apresenta um claro predomínio de filossilicatos (~ 41-89%), seguidos de quartzo ou feldspatos. Contudo, algumas amostras da Formação de Lucula estão fortemente enriquecidas em quartzo (~ 65-82%). A relação entre feldspato potássico e plagioclase é muito variável espacialmente. Algumas amostras, sobretudo da Formação de Chela, apresentam quantidades secundárias de calcite, gesso e barite. A fração argilosa tanto pode estar enriquecida em illite, que chega a ser exclusiva em amostras da Formação de Chela, como em caulinite

(até ~ 96%). As ilites tendem a apresentar valores baixos na relação de intensidade das reflexões de 5 Å e 10 Å. Ocorrem por vezes quantidades significativas de esmectite (até ~ 56%) e clorite (até ~ 40 %).

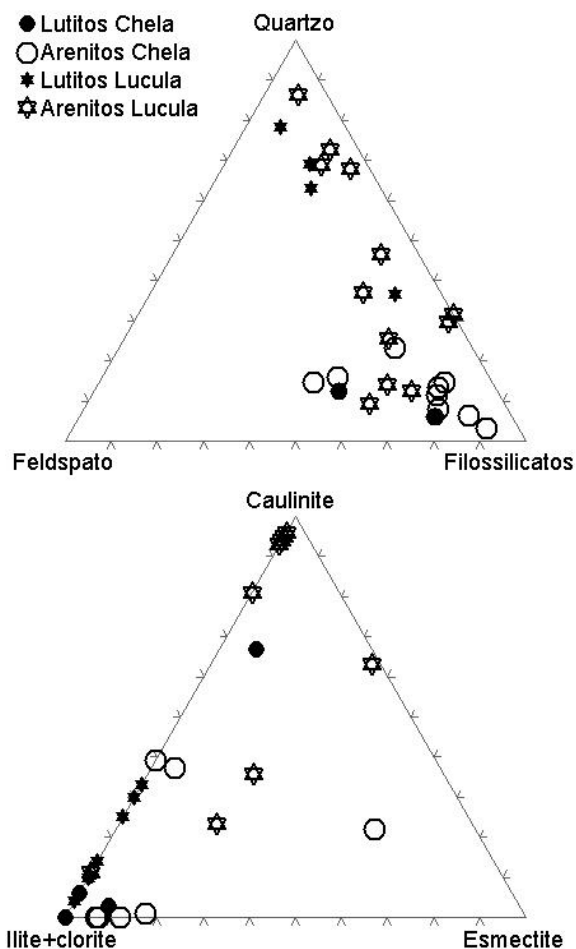


Fig. 1. Mineralogia da fração silto-argilosa (topo) e argilosa (base) obtida para amostras das formações de Lucula e Chela.

A grande diversidade composicional nas frações analisadas é explicada pelo desenvolvimento de áreas de drenagem numa altura em que a compartimentação associada à rutura do Gondwana levou à exumação de unidades do substrato composicionalmente distintas. Este substrato deveria apresentar forte componente félsica, explicando o domínio de ilite-clorite na fração argilosa e a abundância de quartzo, mas a presença de esmectite em unidades com mais plagioclase que feldspato potássico sugere que rochas básicas também foram expostas. O predomínio de ilite detrítica na maioria das amostras das formações de Lucula (as únicas exceções são os níveis amostrados em afloramento) e Chela, por vezes associada a clorite, indica que as condições orográficas e climáticas eram pouco favoráveis à meteorização química. A presença de gesso e a paleolatidade assumida para a Bacia do Baixo Congo durante o Cretácico Inferior (p. ex., Séranne & Anka, 2005) também excluem a possibilidade de deposição sob clima húmido. Durante as primeiras fases de enchimento da Bacia do Baixo Congo terão sido mobilizados mantos de alteração anteriores gerados localmente em períodos de estabilidade tectónica. As maiores quantidades de caulinite em níveis da Formação de Lucula que também se encontram enriquecidos em quartzo são justificadas, parcialmente, por este processo. Transformações diagenéticas serão responsáveis por um empobrecimento em caulinite nas unidades que se encontram presentemente a maiores profundidades. Em sentido oposto, as anormalmente elevadas quantidades de caulinite em unidades aflorantes no *onshore* da Bacia do Baixo Congo também devem estar relacionadas com formação pós-deposicional. Para um mesmo local, observa-se um enriquecimento em caulinite em níveis mais grosseiros, provavelmente refletindo a alteração dos feldspatos por ação de águas intersticiais em ambiente diagenético subaéreo.

Agradecimentos: Os nossos agradecimentos vão para Lumen Sebastião, da ANPG, pelo apoio na amostragens de sondagens, e Anselmo Sicato, no trabalho em afloramento.

Referências

- Braccini, E., Denison, C.N., Scheevel, J.R., Jeronimo, P. Orsolini, P. & Barletta, V. (1997). A revised chrono-lithostratigraphic framework for the pre-salt (Lower Cretaceous) in Cabinda, Angola. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 21, 125-151.
- Séranne, M. & Anka, Z. (2005). South Atlantic continental margins of Africa: a comparison of the tectonic vs climate interplay on the evolution of equatorial west Africa and SW Africa margins. *Journal of African Earth Sciences*, 43, 283-300.

A Estratigrafia da Bacia Carbonífera do Douro (setor do Pejão) revisitada: um contributo para o seu conhecimento litogeoquímico

The Stratigraphy of the Douro Carboniferous Basin (Pejão sector) revisited: a contribution to its lithogeochemical knowledge

M. Costa (1)*, A. Pinto de Jesus (2), E. A. Ferreira da Silva (3) e D. Flores (1)

(1) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território e Instituto de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre 687, 4169-007 Porto,

(2) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre 687, 4169-007 Porto

(3) Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro e GeoBioTec Geobiosciências, Geoengenharia e Geotecnologias, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro

(4) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território e Instituto de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre 687, 4169-007 Porto

* mariana.costa@fc.up.pt

Summary: *The stratigraphy of the Douro Carboniferous Basin (DCB) in the Pejão sector was revisited in eight selected boreholes in order to identify the already known units. Stratigraphic columns and sedimentological records were logged to plan of the sampling campaign that will later be the subject of a multidisciplinary study. In the Pejão sector the sedimentary sequence is restricted to the A1, B1, C1 and D1 tectono-sedimentary units (TSU). The sedimentological record includes the autochthonous sequence (DCB base) since the 2nd coal seam (D1 TSU) occurrence is rare in this sector, although the deltaic record of the base of this TSU was recognized.*

Key words: Douro Carboniferous Basin, Pejão, Stratigraphy

Palavras-chave: Bacia Carbonífera do Douro, Pejão, Estratigrafia

A Bacia Carbonífera do Douro (BCD) mostra a mais importante sequência portuguesa com carvão que, desde os anos 90, tem sido alvo de estudos tectono-estratigráficos, paleontológicos, de caracterização petrográfica e parâmetros físicos do carvão e, mais recentemente, sobre os resíduos resultantes da exploração do carvão e o seu impacto ambiental. Os primeiros dados geoquímicos relativos a estes carvões foram publicados por Lemos de Sousa (1979), com alguns dados de elementos menores, e só muito recentemente foram dados a conhecer, para o setor de São Pedro da Cova, dados geoquímicos e mineralógicos focados no modo de ocorrência dos elementos vestigiais identificados assim como os fatores geológicos que os controlam (Costa et al., 2022a). Recentemente, Costa et al. (2022b) apresentaram dados preliminares relativos à caracterização geoquímica dos carvões do setor do Pejão. Pretende-se agora identificar a assinatura geoquímica de toda a sequência sedimentar da BCD, e não apenas dos níveis de carvão aí existentes, assim como compreender os fatores geológicos que a controla, nomeadamente os enriquecimentos elevadíssimos em elementos ambientalmente sensíveis como, por exemplo, o mercúrio. Para tal

foram selecionadas oito sondagens disponíveis no Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), na litoteca de São Mamede de Infesta para elaboração das respetivas colunas estratigráficas e dos seus registos sedimentológicos no sentido de identificar as unidades já conhecidas e planear a amostragem que será alvo de uma abordagem multidisciplinar, integrando dados petrográficos, geoquímicos e mineralógicos, para esclarecer os processos geológicos envolvidos na sedimentação e evolução da sequência sedimentar da BCD.

A BCD é uma bacia *pull-apart* controlada por cisalhamento esquerdo durante as fases tardias da Orogenia Varisca. Encontra-se inserida no Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão, o qual se estende entre São Pedro de Fins, na Maia, até Janarde, em Arouca, com idades compreendidas entre o Bashkiriano (Vestefaliano D) a NW e o Ghzeliano inferior (Estefaniano C inferior) a SE (Lemos de Sousa & Wagner, 1983; Pinto de Jesus, 2003, 2019). A BCD mostra a sucessão de Carbonífero continental mais extenso de Portugal, bordejando pelo quadrante a SO o flanco inverso da mega estrutura designada por Anticlinal de Valongo (Pinto de Jesus, 2003).

A BCD está preenchida predominantemente por sedimentação sintectónica longitudinal proveniente sobretudo do quadrante SE, apresenta também algum contributo marginal provindo sobretudo das formações do flanco inverso do Anticlinal de Valongo (Pinto de Jesus, 2003). O registo sedimentológico e estratigráfico encontra-se padronizado para toda a BCD por Pinto de Jesus (2003), onde as associações e sequências de litofácies deram origem à caracterização de quatro Unidades Tectono-sedimentares (UTS) que se encontram duplicadas por falhas inversas. Estas UTS são definidas como UTS A (Complexa; UTS A1 e UTS A2), UTS B (Simples; UTS B1 e UTS B2), UTS C (Simples; UTS C1 e UTS C2) e UTS D (Simples; UTS D1 e UTS D2), onde apenas as UTS B e UTS D (UTS B1, D1, B2, D2) contêm camadas de carvão intercaladas com xistos, e são designadas em contexto mineiro por 1ª, 2ª, 3ª e 4ª camadas, sendo que a 3ª e a 4ª camadas correspondem à duplicação tectónica da 1ª e 2ª camadas, respetivamente. Para esta caracterização foram estudados em pormenor os afloramentos do setor de Sete Casais, o setor de S. Pedro da Cova-Midões, o setor de Germunde, o setor do Fojo-Pejão e o setor de Janarde, que corresponde ao fecho SE da BCD. Os setores de São Pedro da Cova e Germunde-Fojo-Pejão têm uma grande importância histórica e económica no país, dado que os Coutos Mineiros de São Pedro da Cova e do Pejão foram as maiores fontes de carvão para a alimentação das centrais termoelétricas. Este trabalho será focado no setor do Fojo-Pejão, cuja sequência tectono-sedimentar se encontra restrita apenas às UTS A1, B1, C1 e D1 (Pinto de Jesus, 2003). Na figura 1 encontra-se uma coluna estratigráfica e respetivo registo sedimentar da sondagem F88, com 347,2m de comprimento, proveniente de uma campanha de

prospecção empreendida pela Ferrominas E.P. e pela Empresa de Desenvolvimento Mineiro em 1987. O registo sedimentológico aí mencionado refere-se à sequência autóctone (base da BCD), sendo que a ocorrência da 2ª camada de carvão (UTS D1) é rara nas sondagens realizadas neste setor estando, no entanto, presente o registo deltaico da base desta UTS e que se encontra no topo da coluna referida.

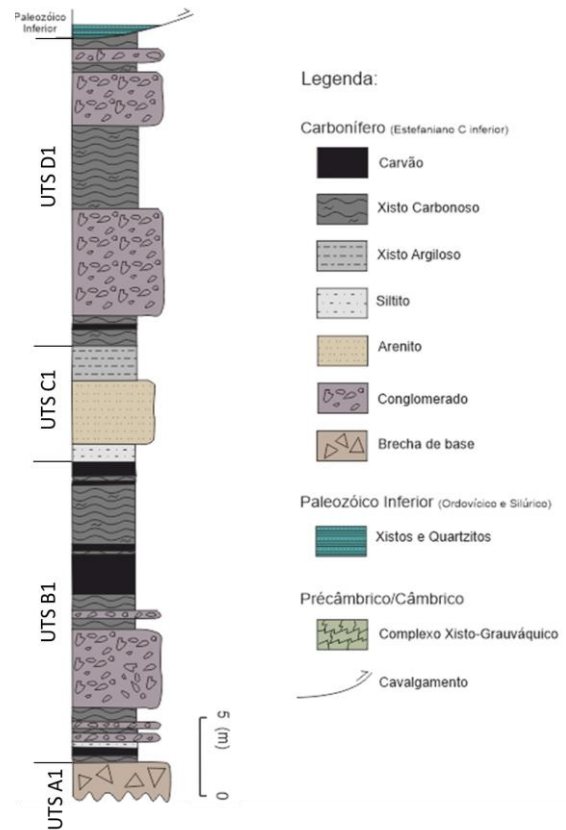


Fig. 1. Coluna estratigráfica e registo sedimentológico da sondagem F88.

Agradecimentos: A autora M. Costa beneficia de bolsa de doutoramento concedida pela FCT Ref: 2022.11145.BD. Este trabalho foi apoiado por fundos nacionais através da FCT, projetos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020. Agradece-se ao LNEG pela colaboração prestada na consulta documental.

Referências

- Costa, M., Moura, H., Pinto de Jesus, A., Suárez-Ruiz, I. & Flores, D. (2022a). Effects of Magmatic Fluids in Coals of São Pedro da Cova Coalfield, Douro Carboniferous Basin, Portugal: Insights from Inorganic Geochemistry. *Minerals* 12(2), 275.
- Costa, M., Moura, H., Pinto de Jesus, A.D. & Flores, D. (2022b). Assinatura geoquímica de fluidos ígneos nos carvões da Bacia Carbonífera do Douro: setores de São Pedro da Cova e Pejão. XIII Congreso Ibérico Y XIII Congreso Nacional de Geoquímica, Puertollano (Ciudad-Real), España, 25-27 abril 2022, 251-264.
- Lemos de Sousa, M. & Wagner, R. (1983). Precisoões sobre a flora fóssil do Couto Mineiro do Pejão e da mina Paraduça nº1 (Bacia Carbonífera do Douro). In: MJ Lemos de Sousa (ed.). *Contributions to the Carboniferous Geology and Palaeontology of the Iberian Peninsula*. Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Mineralogia e Geologia, Porto, 157-169.
- Lemos de Sousa, M.J. (1979). Subsídios para o conhecimento da matéria mineral associada às perantracites da bacia carbonífera do Douro (NO Portugal). II—Elementos para o estudo geoquímico das perantracites durienses. *Comun. Serv. geol. Portg.*, 64, 99–102.
- Pinto de Jesus, A. (2003). Evolução sedimentar e tectónica da Bacia Carbonífera do Douro (Estefaniano C inferior, NW de Portugal). *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 28, 107-125.
- Pinto de Jesus, A. (2019). Carboniferous Intermontane Basins of Portugal. In: J. Oliveira & C. Quesada (eds.). *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach*, 1st ed.; Springer Nature Switzerland; Vol. 2, 402–408.

Does the lithostratigraphic harmonization of the Beiras Group (Panasqueira-Segura area) disclose any pre-Ordovician structure?

A harmonização litoestratigráfica do Grupo das Beiras (área de Panasqueira-Segura) revelará alguma estruturação ante-ordovícica?

Í. Dias da Silva (1), I. Martins (1) and A. Mateus (1)

(1) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz, Dep. de Geologia, 1749-016 Lisboa, Portugal, ifsilva@ciencias.ul.pt

Resumo: A constituição/arquitetura do Grupo das Beiras (GB) é atribuível ao desenvolvimento de duas bacias sedimentares: uma ediacárica, associada à formação de uma cintura back-arc na Orogenia Cadomiana; outra, de idade câmbrica, assente sobre uma discordância angular a que se associam níveis descontínuos de conglomerado poligénico suportado pela matriz, possivelmente representando a base do Câmbrico (olistostromas de Fuentes/Membrillar) e o nascimento de um rift intra-continental. À escala regional, uma sequência detrítica rítmica cobre heterogeneamente as unidades inferiores do GB, denunciando dobramento das unidades ediacáricas e basculamento de blocos durante eventos ante-câmbricos ou do Câmbrico inicial. A harmonização litoestratigráfica realizada na área de Panasqueira-Segura indicia duas descontinuidades, uma intra-cadomiana (Alcudiense) e outra do Câmbrico basal, consistente com o contraste geoquímico/isotópico exibido pelos sedimentos câmbricos e ediacáricos.

Palavras-chave: Ediacárico, Câmbrico inicial, Orogenia Cadomiana, rifting continental, Gondwana

Key words: Ediacaran, early Cambrian, Cadomian Orogeny, continental rifting, Gondwana

The pre-Ordovician Slate-Greywacke Complex (SGC) of the Central Iberian Zone (CIZ) (Sousa, 1984) includes a lower Ediacaran sedimentary record deposited in a Cadomian orogen back-arc basin to the north of Gondwana (Pereira et al., 2012). It is composed of two lithostratigraphic successions separated by the Alcudian unconformity, defined in Spain (e.g. Ferreira da Silva, 2013). On top, early Cambrian detrital, locally carbonated, sequences lay unconformably onto the folded and tilted Ediacaran strata. The stratigraphic discontinuity is outlined by a laterally discontinuous matrix-supported conglomerate (Fuentes and Membrillar olistostromes), bearing clasts (olistoliths) with magmatic-arc signatures and fragments of Ediacaran limestones (Ugidos et al., 2020). Early Cambrian sequences in the CIZ are commonly ascribed to the birth of a fast-spreading passive margin developed in north Gondwana, probably inheriting some of the previous Cadomian back-arc structures.

Metasediment whole-rock geochemistry and isotopic data from the SGC of Spain and Portugal, have successfully distinguished the Cambrian and the Ediacaran strata (e.g. Ugidos et al., 2020), providing a reliable tool to identify sedimentary sources, recycling taxa, and to confine the basins' geodynamic settings. Geochemistry of the Ediacaran stratigraphic groups above and below the Alcudian unconformity present an identical signal of an active Cadomian magmatic-arc located towards south, in Ossa Morena

Zone. This is reinforced by geochronological data displaying a very high prevalence of 560-600 Ma detrital zircons in comparison to older populations (e.g. Pereira et al., 2012). The Terreneuvian-Series 2 sequences show a dilution of the Cadomian magmatic arc geochemical and geochronological signals, pointing to a higher grade of sedimentary maturity, which can be related to the recycling of the underlying Ediacaran basement (surrounding highs) or by longer maturity in river systems (e.g. Ugidos et al., 2020). The characteristics of the early Cambrian sediments suggest that their deposition was controlled by the tilting of (half)grabens and horsts unevenly exposing the basement and sectioning the basin at this stage (e.g. Ugidos et al., 2020). The detrital zircon age populations show a general higher proportion of older ages and, locally, Terreneuvian maximum depositional zircon ages (e.g. Orejana et al., 2015), in respect to the Ediacaran.

In this work we present a new interpretation of the Ediacaran-Terreneuvian structure in the Beiras Group (BG) of the SGC in Portugal, based on the stratigraphic harmonization carried out under the scope of the MOSTMEG project, aiming at a synthetic 1:100.000 scale map of the Panasqueira-Segura area in Portugal (Fig. 1). The stratigraphic division reported in Ferreira da Silva (2013) was updated with several field surveys and whole-rock multi-elemental and multi-system isotopic data (Martins et al., in prep.). The map in Fig. 1 was made using data from published geological maps of Portugal (1:50.000 and

1:200.000, LNEG) along with information gathered in the past two years, namely cartographic, structural, geochemical, and geochronological data. These were set in a GIS environment for management and access and are the base of harmonization presented here.

The stratigraphic harmonization supports the lateral equivalence of the different BG stratigraphic units in the study area. It assumes lateral and vertical stratigraphic variations, as previously reported (e.g. Ferreira da Silva, 2013). We regionally separate two main successions in the BG (Fig. 1). The lower one (Ediacaran) corresponds to the Malpica do Tejo Formation (Fm.) and to the lower and distal members of the Rosmaninhal Fm. At the base of the latter members a cartographic unconformity (Alcudian?) could be inferred, considering the geometric relationships established between them and the Malpica do Tejo Fm. However, deformation and geochemical characteristics are identical above and below this unconformity. The upper succession (Terreneuvian-Series 2?) corresponds to a basal olistostrome-rhythmic sequence defining the base of the upper member of the Rosmaninhal Fm. The basal matrix-supported conglomerate observed to the south of Penha Garcia, could be correlated to the Fuentes/Membrillar olistostromes in Spain, as they mark a clear deformation decrease and a geochemical change of the units above and below these layers. Thus, the regional stratigraphic harmonization of BG in the Panasqueira-Segura area allows evidencing the presence of a pre-Ordovician structure (Fig. 1), as proposed in nearby sectors of the SGC of Spain and Portugal.

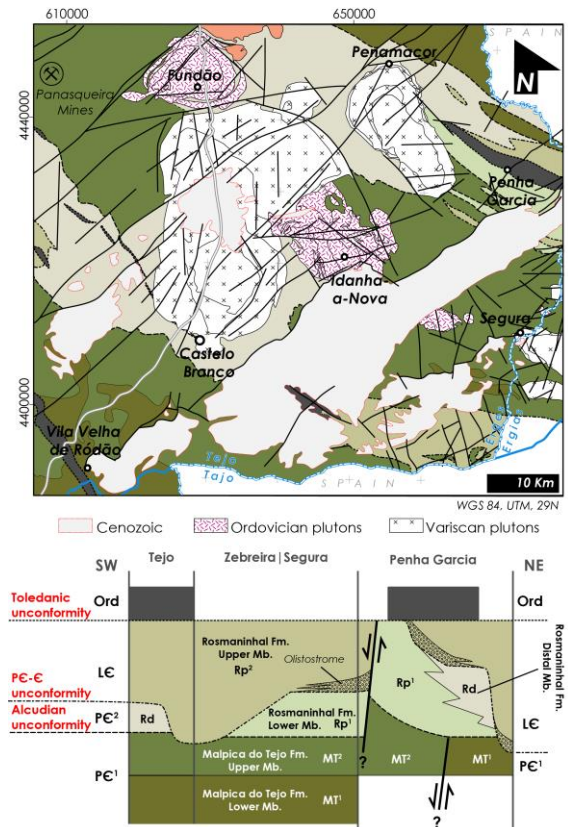


Fig. 1. MOSTMEG project simplified geological map and stratigraphic columns for the BG across the Panasqueira-Segura area. Adapted from (Ferreira da Silva, 2013 and Meireles, 2020) using new field and geochemical data.

Acknowledgments: ERA-MIN/0002/2019 project (MOSTMEG), UIDB/50019/2020- IDL grant (FCT I.P./MCTES), DL57-Norma transitória researcher contract (FCT I.P./MCTES) and PD/BD/142783/2018 grant (FCT I.P./MCTES).

References

- Ferreira da Silva, A. (2013). A Litostratigrafia e Estrutura do Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico), em Portugal, e sua correlação com as correspondentes sucessões em Espanha. *Boletim de Minas* 48, (2), 97-142.
- Meireles, C. (coord.) (2020). Folha 4 da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:200 000. LNEG, Lisboa.
- Orejana, D., Merino Martínez, E., Villaseca, C. & Andersen, T. (2015). Ediacaran–Cambrian paleogeography and geodynamic setting of the Central Iberian Zone: Constraints from coupled U–Pb–Hf isotopes of detrital zircons. *Precambrian Research* 261, 234-251.
- Pereira, M. F., Linnemann, U., Hofmann, M., Chichorro, M., Solá, A. R., Medina, J. & Silva, J. B. (2012). The provenance of Late Ediacaran and Early Ordovician siliciclastic rocks in the Southwest Central Iberian Zone: Constraints from detrital zircon data on northern Gondwana margin evolution during the late Neoproterozoic. *Precambrian Research*, 192-195, 166-189.
- Sousa, M. B. (1984). Considerações sobre a estratigrafia do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) e sua relação com o Paleozóico Inferior. *Cuadernos Geología Ibérica* 9, 9-36.
- Ugidos, J. M., Barba, P. & Valladares, M. I. (2020). Chapter Four - Review of the Upper Ediacaran-Lower Cambrian detrital series in Central and North Iberia: NE Africa as possible source area. In: M. Montenari (eds.), *Stratigraphy & Timescales*. 5, Academic Press, 147-268.

Aspetos microfaciológicos da Formação da Leba, Proterozoico (Sudoeste de Angola)

Microfaciological aspects of the Leba Formation, Proterozoic (Southwest Angola)

L. V. Duarte (1), J. Barata (1) e C. L. Oliveira (1)

(1) Universidade de Coimbra, MARE-ARNET e Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal

Summary: *The Leba Formation is a reference carbonate unit from the Proterozoic of the Congo Craton, Southwest Angola, composed of cherty dolostones with microbial laminites and stromatolites. This work describes the microfacies that characterize this unit, based on the study of several sections of the Humpata Plateau. The results confirm the dominance of dolomite in the whole succession, locally strongly silicified. Facies are markedly differentiated, comprising microbial bioconstructions, including micro domal stromatolites, and a wide variability of other textures, ranging from dolomicrites/mudstones to intraclastic and extraclastic grainstones. Taking into account that dolomite of primary origin is present, several diagenetic processes are identified, including dolomitization and different phases of silicification.*

Key words: Dolostones, stromatolites, microfacies, Proterozoic, Angola

Palavras-chave: Dolomitos, estromatólitos, microfácies, Proterozoico, Angola

O Planalto da Humpata, no Sudoeste de Angola, mostra uma sucessão sedimentar de idade proterozoica, que abrange o Grupo da Chela e a Formação (Fm) da Leba (*sensu* Correia, 1976; ver, também, Pereira et al., 2011). Assente sobre rochas granitoides com cerca de 2100 ± 100 Ma (Carvalho et al., 2000), esta sucessão constitui uma referência no estudo da evolução das bacias sedimentares paleomesoproterozoicas do Cratão do Congo-S. Francisco (Pedreira & Waele, 2008). Contrastando com a sedimentação siliciclástica e vulcanoclástica das diversas formações do Grupo da Chela (Tundavala, Humpata, Bruco e Cangalongue; ver, também, Vale & Gonçalves, 1973; Pereira et al., 2011), a Fm da Leba é constituída por uma sequência carbonatada, composta maioritariamente por dolomitos, por vezes intensamente silicificados (cherte), e onde sobressaem macrofácies com diversos tipos de estruturas microbianas, entre laminitos e cúpulas estromatolíticas centimétricas. Este tipo de fácies alterna com níveis maciços, geralmente silicificados ou apresentando estruturas entrecruzadas, marcas de ondulação, bem como pequenas fendas de dessecação. Esta unidade, que é uma referência no contexto da geologia do sudoeste angolano (Duarte et al., 2014), mostra um máximo de 60 m de espessura (Correia, 1976). A ausência de marcadores biostratigráficos, bem como de qualquer unidade suprajacente, não permite uma datação precisa da Fm da Leba, podendo abranger qualquer posição estratigráfica desde o final do Paleoproterozoico ao

Neoproterozoico. Neste contexto, considerando a caracterização limitada desta unidade, para além das descrições macroscópicas de Correia (1976), o presente trabalho tem por objetivo dar uma visão preliminar da petrografia da Fm da Leba, desde a descrição das principais texturas deposicionais até à caracterização dos principais aspetos diagenéticos. Esta análise é feita a partir de amostras recolhidas em vários locais do Planalto da Humpata, como os afloramentos da Serra da Leba e da Gruta do Tchinguiviro. Este exercício é complementado por análise mineralógica, a partir de difração de RX.

Os resultados obtidos mostram e confirmam que a mineralogia da Fm da Leba é dominada por dolomite, sendo por vezes o único representante mineralógico, à qual se associa, com alguma frequência, forte silicificação. A calcite é rara a inexistente. Esta constatação é fundamental no entendimento das microfácies já que, as fácies carbonatadas mais finas aparentam ocorrência micrítica calcítica, o que não corresponde à verdade. À escala microscópica define-se uma distinção clara entre biolitos microbianos, por vezes com desenvolvimento de micro cúpulas estromatolíticas, e microfácies muito diversificadas, desde dolomicritos, contendo alguma fração siliciclástica muito fina (essencialmente quartzo) até *grainstones* com intraclastos (mal calibrados), oóides e grãos de quartzo. A fase de ligação varia de uma dolomite criptocristalina (dolomicrite) a dolosparite. As fácies microbianas mostram laminações finas em intercalações micrométricas, com espessuras de

aproximadamente 80 a 300 μm . Considera-se a dolomicrite de origem primária, ou seja, contemporânea da deposição (ver, por exemplo, Peters et al, 2017).

No que respeita ao efeito da diagénese, as amostras analisadas mostram diferentes texturas, que podem refletir várias fases de dolomitização. Entre elas, destaca-se a dolomicrosparite com textura xenotópica, ou fases de dolomitização mais tardias representadas pelos característicos cristais romboédricos. Intraclastos e oóides são geralmente rodeados por cimentos isópacos com textura fibrosa ou laminar, sendo o espaço intergranular preenchido por cimentos com mosaico de textura xenotópica a hipidiotópica. São também observadas diferentes fases de silicificação, com texturas microcristalinas ou texturas xenotópicas inequigranulares, ao longo das

laminações dolomicríticas. Possivelmente, a silicificação é resultante do efeito da movimentação de fluidos ricos em sílica através de percursos de maior permeabilidade.

Estas evidências à escala microscópica, associadas a alguns dados de campo, permitem ampliar as descrições macroscópicas de Correia (1976) e conhecer um pouco mais as características sedimentares e petrográficas da Fm da Leba. Também acrescentam novas informações quanto à tipologia das bioconstruções microbiais. Os dados aqui apresentados sugerem que esta unidade se tenha gerado em ambiente marinho raso, com possíveis episódios de exposição subaérea. No entanto, só um trabalho de análise sedimentológica de alta resolução poderá esclarecer melhor toda a variabilidade paleoambiental.

Agradecimentos: Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT, I.P., no âmbito do projeto UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020, MARE e do Laboratório Associado ARNET (LA/P/0069/2020).

Referências

- Carvalho, H., Tassinari, C., Alves, P., Guimaraes, F., & Simões, M. (2000). Geochronological review of the Precambrian in western Angola: links with Brazil. *Journal of African Earth Sciences*, 31, 383-402.
- Correia, H. (1976). O Grupo Chela e Formação Leba como novas unidades litoestratigráficas resultantes da redefinição da "Formação da Chela" na região do Planalto da Humpata (Sudoeste de Angola). *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, 20, 65-130.
- Duarte, L.V., Callapez, P.M., Kalukembe, A., Gonçalves, A., Segundo, J.C., Lapão, L, Prata, M.E., Bandeira, M. & Cristiano, A.T. (2004). Do Proterozoico da Serra da Leba (Planalto da Humpata) ao Cretácico da Bacia de Benguela (Angola). A geologia de lugares com elevado valor paisagístico. *Comunicações Geológicas*, 101, Especial III, 1255-1259.
- Pedreira, A.J. & De Waele, B. (2008). Contemporaneous evolution of the Palaeoproterozoic-Mesoproterozoic sedimentary basins of the São Francisco – Congo Craton. *Geological Society, Special Publications*, London, 294, 33-48.
- Pereira, E., Tassinari, C.C.G., Rodrigues, J.F. & Van-Dúnem, M.V. (2011). New data on the deposition age of the volcano-sedimentary Chela Group and its Eburnean basement: implications to post Eburnean crustal evolution of the SW of Angola. *Comunicações Geológicas*, 98, 29-40.
- Peters, S. E., Husson, J.M. & Wilcots, J. (2017). The rise and fall of stromatolites in shallow marine. *Environments. Geology*, 45 (6), 487–490.
- Vale, F.S. & Gonçalves, F.G. (1973). Notícia explicativa da folha 355 (Humpata-Cainde), à escala 1:100.000, da Carta Geológica de Angola. *Serviços de Geologia e Minas*, Luanda.

Quimiostratigrafia da Formação de Coimbra (Sinemuriano), Bacia Lusitânica. Significado paleoambiental e potencial de correlação extra bacinal

Chemostratigraphy of the Coimbra Formation (Sinemurian), Lusitanian Basin. Palaeoenvironmental significance and extrabasinal correlation potential

L. V. Duarte (1), R.L. Silva (2), J. G. Mendonça Filho (3), A. C. Azerêdo (4) e M. J. Comas-Rengifo (5)

(1) Universidade de Coimbra, MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente e ARNET, Departamento de Ciências da Terra, Portugal. lduarte@uct.uc.pt

(2) Department of Earth Sciences, University of Manitoba, Canada

(3) Departamento de Geociências e LAFO, Universal Federal do Rio de Janeiro, Brasil

(4) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia e Universidade de Lisboa, Instituto Dom Luiz (IDL), Portugal

(5) Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, España

Summary: *In this work a chemostratigraphic analysis [total organic carbon (TOC) and carbon stable isotopes ($\delta^{13}C$)] of the Coimbra Formation (Sinemurian), cropping out in the reference section of S. Pedro de Moel, western Lusitanian Basin, is performed. TOC analysis shows that the Coimbra Formation is locally enriched in organic matter, reaching up to 12 wt.%. In a typically shallow-water and relatively high-energy succession, these intervals with high TOC values are associated with 3rd-order flooding phases. In a succession with a relatively normal marine values, the vertical variation of $\delta^{13}C$ determined in bulk carbonate is characterized by several negative shifts, dated from the *Obtusum* Chronozone. The local versus global significance of the isotopic record and its potential in extrabasinal correlation is discussed.*

Key words: Coimbra Formation, total organic carbon, carbon stable isotopes, chemostratigraphy, Portugal

Palavras-chave: Formação de Coimbra, carbono orgânico total, isótopos estáveis de carbono, quimiostratigrafia, Portugal

Na Bacia Lusitânica (BL; Portugal), o Sinemuriano marca a base de uma espessa sucessão de origem carbonatada, inserida num ciclo sedimentar de 1ª ordem que termina no final do Jurássico Médio (e.g. Azerêdo *et al.*, 2003). De entre a sua grande expressão cartográfica, é na região de S. Pedro de Moel, no setor ocidental da bacia, que se observa a sua secção de referência, sendo o Sinemuriano materializado pelas formações de Coimbra e de Água de Madeiros (e.g. Azerêdo *et al.*, 2010; Duarte *et al.*, 2010, 2014, 2022). Para além de ser o único setor desta margem ibérica onde é possível observar praticamente toda a série sedimentar sinemuriana, de modo quase contínuo, S. Pedro de Moel mostra um registo da Formação (Fm) de Coimbra de domínio calcário, contrastando com as fácies dolomíticas que se evidenciam em grande parte do *onshore* da bacia (e.g. Dimuccio *et al.*, 2016). Em S. Pedro de Moel esta formação é datada do Sinemuriano inferior a superior, estando subdividida em oito subunidades (A a H), que se diferenciam por critérios de organização faciológica. Este facto, aliado à concomitante ocorrência de sedimentação margosa, por vezes rica em matéria orgânica, bem como de um registo

particularmente fóssilífero, onde se incluem os primeiros amonoides da bacia (e.g. Dommergues *et al.*, 2010), configura este setor da BL como único para estudos de estratigrafia integrada. Neste sentido, o presente trabalho centra-se numa análise quimiostratigráfica desta unidade, suportada na avaliação do conteúdo em carbono orgânico total (COT) e na variabilidade isotópica de carbono ($\delta^{13}C$) sob fração carbonatada. Paralelamente às interpretações paleoambientais e à ampliação de dados que confirmam a Fm de Coimbra como rica em matéria orgânica, um dos principais objetivos da presente análise é de contribuir para um melhor entendimento do registo geoquímico do Sinemuriano da BL e do seu potencial de correlação extra bacinal. Os valores de COT, quantificados em 67 amostras, exibem valores máximos de 12 %. Com valores bastante significativos, por vezes em níveis discretos, em grande parte das subunidades da Fm de Coimbra, a maior expressão de COT concentra-se na subunidade F, que tem cerca de 4,4 metros de espessura, e que é composta, maioritariamente, por margas negras e *black shales*. Estes novos dados dão consistência à assunção da Fm de Coimbra como

unidade como potencial geradora de hidrocarbonetos neste setor da bacia (e.g. Brito *et al.*, 2017, e referências aí contidas). É de salientar, também, que a sedimentação carbonatada de baixa coluna de água e de relativa energia associada a esta porção do Sinemuriano da BL, terá sido interrompida por episódios curtos de baixa energia, favorecendo a acumulação de materiais argilosos e a preservação de matéria orgânica. Alguns intervalos mais ricos em COT, como os definidos nas subunidades D, F e H, a par de outros critérios, coincidem com máximos de inundação de 3ª ordem, revelando a importância deste parâmetro geoquímico na interpretação sequencial da sucessão, tal como é noutros compartimentos do Sinemuriano superior e do Pliensbaquiano da bacia (e.g. Duarte *et al.*, 2010). Quanto aos dados isotópicos de carbono, analisados em 292 amostras, apresentam uma variação entre - 5,8‰ e +2,8‰, valores que se inserem no padrão

normalmente admitido para os carbonatos de origem marinha. Entre outras pequenas oscilações de importância estratigráfica, destaca-se uma marcante excursão negativa, de cerca de - 8‰, observada no intervalo rico em matéria orgânica da subunidade F. Considerando os dados de amonoides disponíveis, este marco geoquímico é datado da Cronozona Obtusum, em torno do limite entre as subcronozonas Stellare e Denotatus. Por outro lado, é digna de realce a variabilidade praticamente nula dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ observados ao longo da base da Cronozona Oxynotum. Apesar da possível origem diagenética do sinal isotópico, concretamente nos intervalos mais ricos em matéria orgânica, a originalidade deste registo geoquímico (ver também Silva *et al.*, 2013) abre uma interessante discussão em torno da correlação e em termos dos futuros trabalhos de análise quimiostratigráfica a desenvolver no contexto regional e das bacias peri-atlânticas.

Agradecimentos: Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT, I.P., no âmbito do projeto UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020, MARE e do Laboratório Associado ARNET (LA/P/0069/2020).

Referências

- Azerêdo, A. C., Duarte, L. V., Henriques, M. H. & Manuppella, G. (2003). Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos da Geologia de Portugal*, Instituto Geológico e Mineiro.
- Azerêdo, A. C., Silva, R. L., Duarte, L. V. & Cabral, M. C. (2010). Subtidal stromatolites from the Sinemurian of the Lusitanian Basin (Portugal). *Facies*, 56, 211–230.
- Brito, M., Rodrigues, R., Baptista, R., Duarte, L. V., Azerêdo, A. C. & Jones, C. M. (2017). Geochemical characterization of oils and their correlation with Jurassic source rocks from the Lusitanian Basin (Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, 85, 151-176.
- Dimuccio, L. A., Duarte, L. V. & Cunha, L. (2016). Definição litostratigráfica da sucessão calcodolomítica do Jurássico Inferior da região de Coimbra-Penela (Bacia Lusitânica, Portugal). *Comunicações Geológicas*, 103, 1-19.
- Dommergues, J.-L., Meister, C. & Rocha, R. B. (2010). The Sinemurian ammonites of the Lusitanian Basin (Portugal): an example of complex endemic evolution. *Palaeodiversity*, 3, 139–167.
- Duarte, L. V., Comas-Rengifo, M. J., Silva, R. L., Paredes, R. & Goy, A. (2014). Carbon isotope stratigraphy and ammonite biostratigraphy across the Sinemurian-Pliensbachian boundary in the western Iberian margin. *Bulletin of Geosciences*, 89, 719–738.
- Duarte, L. V., Silva, R. L., Azerêdo, A. C., Comas-Rengifo, M. J., & Mendonça Filho, J. G. (2022). Shallow-water carbonates of the Coimbra Formation, Lusitanian Basin (Portugal): Contribution to the integrated stratigraphic analysis of the Sinemurian sedimentary successions in the western Iberian Margin. *Comptes Rendus. Géoscience*, 354(S3), 1-18.
- Duarte, L. V., Silva, R. L., Oliveira, L. C. V., Comas-Rengifo, M. J. & Silva, F., (2010). Organic-rich facies in the Sinemurian and Pliensbachian of the Lusitanian Basin, Portugal: Total Organic Carbon distribution and relation to the transgressive-regressive facies cycles. *Geologica Acta* 8 (3), 325-340.
- Silva, R.L., Duarte, L.V., & Mendonça Filho, J.G, (2013). Optical and geochemical characterization of Upper Sinemurian (Lower Jurassic) fossil wood from the Lusitanian Basin (Portugal). *Geochemical Journal*, 47, 489–498.

The age and depositional environments of the lower Karoo Moatize Coalfield of Mozambique: insights into the postglacial history of central Gondwana

Idade e ambientes deposicionais do Karoo inferior da Bacia de Moatize em Moçambique: contributos para o conhecimento da história geológica pós-glacial no centro do continente Gondwana

P. Fernandes (1), J. Hancox (2), M. Mendes (3), Z. Pereira (3), G. Lopes (4), J. Marques (5), R. C. G. S. Jorge (6) and L. Albardeiro (7)

(1) Centro de Investigação Marinha e Ambiental, (CIMA), Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139, Faro, Portugal, pfernandes@ualg.pt

(2) Evolutionary Studies Institute, University of the Witwatersrand, PO Wits 2050, Johannesburg, South Africa.

(3) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Rua da Amieira, Apartado 1089, 4466-901, S. Mamede de Infesta, Portugal.

(4) Plants, Photosynthesis and Soil Cluster, School of Biosciences, University of Sheffield, Alfred Denny Building, Western Bank, Sheffield S10 2TN, UK.

(5) Gondwana Empreendimentos e Consultorias, Limitada, Rua 1.335, Bairro da COOP, Maputo, Moçambique.

(6) Instituto Dom Luiz, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C6, Piso 4, 1749-016 Lisboa, Portugal.

(7) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Bairro da Val d'Oca. Ap. 14, 7601-909 Aljustrel, Portugal.

Sumário: Quatro sondagens realizadas na Bacia Carbonífera de Moatize (Moçambique) foram alvo de estudos palinoestratigráficos e paleoambientais, permitindo a determinação da idade da sucessão estratigráfica do Karoo inferior desta bacia. Os dados forneceram, também, conhecimentos sobre a idade das camadas de carvão, evolução dos ambientes sedimentares e condições paleoclimáticas nesta parte do Supercontinente Gondwana desde o final da glaciação do Paleozoico superior (Guadalupiano inferior) até à fronteira Pérmico-Triásico. Duas fases deposicionais foram reconhecidas relacionadas com importantes eventos tectónicos regionais. A primeira registou a mudança de um leque deltaico de deglaciação para ambientes de delta lacustre e a deposição das camadas de carvão Sousa Pinto e Chipanga em pântanos das margens de lagos durante o Roadiano-Wordiano. A segunda fase está relacionada com os sistemas fluviais de elevada carga sedimentar, e a deposição das camadas de carvão Bananeiras, Intermédia, Grande Falésia e André em planícies de inundaçãõ durante o Wordiano (Guadalupiano) ao Lopingiano.

Palavras-chave: palinologia, análise estratigráfica, camadas de carvão, Guadalupiano-Lopingiano, Karoo

Keywords: palynology, stratigraphic analysis, coal seams, Guadalupian-Lopingian, Karoo

The accumulation of extensive coal deposits is one of the main features of the lower Karoo sedimentary sequences deposited in the Gondwanan successions of south-central Africa, between the Late Palaeozoic Glaciation (LPG) and the end Permian extinction (EPE). The onset of a greenhouse climate mode follows the age of the LPG terminus. The sedimentary environments, and duration of the coal beds deposition, are still a matter of discussion, particularly in the Karoo-aged basins of Mozambique. The Mozambican coalfields outcrop extensively along the Zambezi Basin in Tete Province. They occur in three sub-basins: i) the Moatize - Minjova sub-basin, ii) the Sanângoè-Mefidéze sub-basin, and iii) the Chicôa-Mecúcoè sub-basin. The Lower Karoo Group in Mozambique comprehends three clastic units,

from oldest to youngest: the (glacial/deglacial) Vúzi, (coal-bearing) Moatize, and (sandstone-dominated) Matinde Formation. This work focuses exclusively on the Moatize Coalfield (MC), part of the Moatize – Minjova sub-basin, and is supported by the analysis of four stratigraphic boreholes. Based on palynological cluster analysis, it presents the relative ages of the lower Karoo stratigraphic succession, including the recognised coal seams. This analysis allowed the correlation of the entire coal-bearing stratigraphic sequence of the MC. In addition, interpretations of the sedimentary environments, together with the palynological record, provide critical information for establishing new considerations on the age and onset of the deglaciation events, the age of coal deposits, the sedimentary environment dynamics, the

palaeoclimatic evolution, and the overall geological evolution for this part of Gondwana during Permian times.

The main conclusions of this study were:

- 1) In the MC, the coal seams sequences are all younger than the base of the Roadian Stage (early Guadalupian Epoch), dating the beginning of the deglaciation phase in this basin;
- 2) The sedimentological analysis indicates that the deposition in the MC occurred in two different phases. The beginning of the deposition is related to major regional tectonic events. The older depositional phase records the evolution from an initial deglacial fan-delta to a lake-delta depositional environment. The climate change accompanying this phase is characterised by a warming trend that allowed the accumulation of terrestrial vegetation in wetlands and the formation of the Sousa Pinto and Chipanga seams, respectively. In the lake-delta depositional system, coals were formed in lake margin mires and swamps of the delta top, whereas inside the lake basin, fine-grained sediments accumulated as lake-floor mudstones and siltstones, while conglomerates and sandstones accumulated as mass flow deposits (debris flows) on the lake floor and lake slope.
- 3) The sedimentation in the first depositional phase was influenced by the early transtensional tectonism that created the initial accommodation space for sedimentation, and the end of the LPG age, whose ice melting may have influenced the lake levels. A uniformisation of the sedimentary environments may have occurred in the entire basin, with the development of lake margin swamps that extend laterally in shallow lakes. This phase is associated with the deposition of the Chipanga Seam, whose accumulation is estimated to be between 1.5 to 2.7 million years. The palynological age of the first depositional phase that hosts the Sousa Pinto and

Chipanga seams is Roadian-Wordian (lower to mid-Guadalupian).

- 4) The second depositional phase relates to fluvial environments only. The beginning of this depositional phase was linked to an important regional tectonic pulse that tilted the basin floor and uplifted the source terrain. This led to a reorganisation of the sedimentary environments with the formation of fluvial systems characterised by bedload rivers (braided?) and overbank floodplains. The separation of the different depositional settings of the fluvial system is proposed to be linked to the tectonic compartmentation of the basin floor by active normal faults. The braided channel belt was constrained to hanging wall blocks of normal faults in grabens and half-grabens, characterised by high tectonic subsidence rates. At the same time, the floodplain deposition occurred on the footwall blocks of the normal faults or in the highest part of the hanging wall ramp of half-grabens. The coeval deposition of coal-rich and sandstone-rich succession in different parts of the basin may explain the difficulty in identifying the stratigraphic limit between the coal-bearing Moatize and the sandstone-dominated Matinde formations. The deposition of coal intervals within the braided channel belt is attributed to channel lateral migration and the formation of swamps in the abandoned channels. In contrast, the accumulation of coals in the floodplains is associated with permanent wetlands and marshes formed by frequent floodings with well-established luxuriant vegetation. These waterlogged settings were only preserved in humid temperate to warm climatic conditions. Based on their palynological signatures, the age of the fluvial depositional phase that hosted the Bananeiras, Intermédia, Grande Falésia and André coal seams is Wordian (Guadalupian) to Lopingian.

Acknowledgements: This work was supported by the project PALEOCLIMOZ (PTDC/CTA-GEO/30082/ 2017), funded by Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal. The authors would like to acknowledge the financial support of the Portuguese Foundation of Science and Technology (FCT) to CIMA through UIDP/00350/2020. P. Fernandes wishes to thank Vale Moçambique, S.A. (currently Vulcan Mozambique, S.A.) for facilitating access to the core and data from the boreholes and permitting this work. P. Fernandes also wishes to thank all the Gondwana staff from the Tete office whose help over the last few years has been invaluable for this work. LNEG's technicians Irene Sousa and Margarida Valente are acknowledged for laboratory support and sample preparation

The state of the art of Phyllite-Quartzite Group Lower and Upper sequences, Mid-Late Devonian siliciclastic basin

As sequências Superior e Inferior do Grupo Filito-Quartzítico como reflexo de uma bacia siliciclástica de idade Devónico Médio a Superior

J. X. Matos (1), Z. Pereira (1), M. Mendes (1), L. Albardeiro (1), A. Diez-Montes (2), V. Araújo (3) and I. J. T. Oliveira (1)

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), joao.matos@lneg.pt

(2) Instituto Geológico Y Minero de España – IGME-CSIC

(3) Sociedade Mineira de Neves-Corvo, SA (SOMINCOR)

Resumo: O Grupo Filito-Quartzítico (GFQ) é considerado o substrato siliciclástico da Faixa Piritosa Ibérica (FPI), aflorando nas antiformas de Pomarão-Puebla de Guzmán, Valverde, Neves-Corvo– Rosário, Lousal–Caveira, São Francisco da Serra e Cercal. No setor norte da FPI o GFQ está presente em estruturas alóctones em São Domingos, Mértola, Alcaria Ruiva, São Barão, Roxo e Serrinha. A idade palinológica do GFQ, a cartografia geológica e a informação de sondagens de prospeção, permitem definir duas sequências principais: GFQ Inferior (base desconhecida e idade Givetiano a Frasniano, Biozonas de Miosporos AD Lem e BH) e GFQ Superior (idade Famenniano superior, Biozonas de Miosporos VCo, VH e LN). A sequência GFQ superior tem uma idade contemporânea da Sequência Inferior do Complexo Vulcano-Sedimentar da FPI e início da formação dos depósitos de sulfuretos maciços vulcanogénicos (p.e., jazigos Neves-Corvo, Lousal e Caveira de idade Estruniano).

Palavras-chave: Devónico, palinoestratigrafia, Grupo Filito-Quartzítico, Faixa Piritosa Ibérica, Zona Sul Portuguesa

Key words: Devonian; palynostratigraphy; Phyllite-Quartzite Group, Iberian Pyrite Belt, South Portuguese Zone

The Phyllite-Quartzite Group (PQG) is the basal unit of the Iberian Pyrite Belt (IPB), forming a sequence deposited over an open siliciclastic platform, outcropping in the South Portuguese Zone along ~250 km from Serrinha (Alcácer do Sal) to NE of Seville (Oliveira *et al.*, 2019). The PQG base is unknown. Seismic data and deep drill holes (>2100 m depth) at the most investigated IPB Neves-Corvo region do not confirm the base of the Group. The age of PQG rocks, based on palynostratigraphy, assigns an interval deposition range from the Givetian to the Strunian (Pereira *et al.*, 2008, 2021; Mendes *et al.*, 2020). The PQG is present in the core of antiforms like Zalamea La Real, Valverde del Camino-Calañas, Pomarão–Puebla de Guzmán, Neves-Corvo–Rosário, Lousal–Caveira, São Francisco da Serra and Cercal (Fig. 1). In the northern IPB sector, the PQG outcrops in allochthonous blocks at São Domingos, Mértola, Alcaria Ruiva, São Barão, Roxo and Serrinha (Portugal). Decades of detailed geological mapping, combined with paleontological research (palynology),

allow to define of two primary PQG sequences (Pereira *et al.*, 2008, 2021; Matos *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2019; Mendes *et al.*, 2020): i) the Lower PQG sequence with unknown basal contact, of Givetian to Frasnian

age, based in the assignment of AD Lem and BH Miospore Biozones. The Lower PQG sequence is well exposed in the Lousal and Caveira mines (e.g., Lousal Corona stream section, Matos *et al.*, 2014), at São Francisco da Serra (Pereira *et al.*, 2008) and Neves-Corvo (Pereira *et al.*, 2021), the Lower PQG is known in the subsurface being intersected by exploration drill holes. The Lower PQG consist of alternating phyllites and siltstones with scarce impure quartzite beds (<1 m thick) lacking lateral continuity, representing a relatively deep marine depositional environment. At Neves-Corvo region, turbidite facies occur. At Lousal and Caveira, the Lower PQG sequence is represented by the Lower Corona Unit of the Givetian age (Pereira *et al.*, 2008; Matos *et al.*, 2014). In Spain, a Late Givetian age is described at Ribera del Jarama (González *et al.*, 2004). The Lower PQG sequence is included in the generic Phyllite Quartzite Fm in other regions. (Oliveira *et al.*, 2019); ii) the Upper PQG sequence of late to latest Famennian consists of interbedded phyllites, quartzites, quartzwackes, greywackes and limestones. These lithologies show sedimentary features that suggest overall deposition in shallow marine settings. The limestones at the top of this sequence yielded crinoids and conodonts (e.g., Forno da Cal, Rosário and Nascedios - Pomarão) and are

considered a regional stratigraphic marker horizon. The quartzites are mature and often form lateral continuous, mud-free thick sequences with >10 m in thickness (e.g., Senhora do Livramento, Guiso Pequeno, Vila Ruiva, São Barão and Virgen de La Peña) (Oliveira *et al.*, 2019). The VH Biozone (late Famennian) is present in several sectors, such as Neves Corvo, Cercal and Serrinha (Pereira *et al.*, 2008). The LL Biozone (latest Famennian-Strunian) occurs in the Nascedios Member at Pomarão Anticline (Pereira *et al.*, 2008). The LN Biozone (latest Famennian-Strunian) is represented at São Domingos, Gadiana River (north of Mértola), Neves-Corvo, Lousal and Caveira Upper Corona Unit (Pereira *et al.*, 2008, 2021;

Matos *et al.*, 2014; Mendes *et al.*, 2020). The described Phyllite Quartzite Fm in the last regions also correlates to the Upper PQG sequence. Clastic sequences with ages coeval with the Upper PQG are represented in the northern sectors of the IPB, as in the Vale de Parreiras Fm. (mid-late Famennian, VCo Biozone) and Barranco do Homem Fm. (late Famennian, VH Biozone). At São Domingos and João Serra, coarse polymictic sedimentary breccias occur, reflecting basin instability probably related to the first volcanic events of the IPB. The Upper PQG sequence is also contemporaneous with the initial episodes of mineralisation, dated from the latest Famennian-Strunian age in the Neves-Corvo deposit, where at Lombador sector, stockwork veins occur in the PQG quartzite host rocks (Pereira *et al.*, 2021). Following the last geological setting, the Upper PQG sequence can be considered a favorable VMS exploration ore horizon

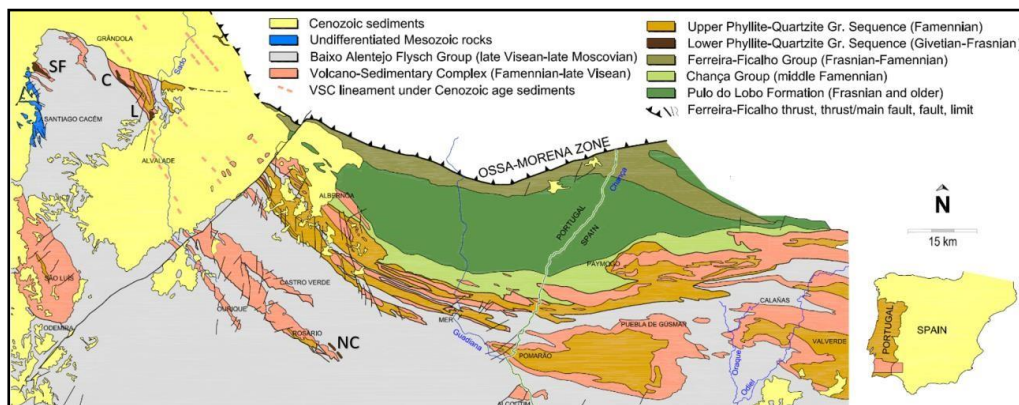


Fig. 1. South Portuguese Zone simplified geological map in Portugal. Phyllite-Quartzite Group: Lower PQG Sequence (Givetian to Frasnian age): SF – São Francisco; C – Caveira; L – Lousal; NC Neves-Corvo. Geology from Oliveira *et al.*, 1992 and Díez-Montes *et al.*, 2020.

Acknowledgements: EXPLORA Project/ALENTEJO2020/Portugal2020/FEDER and GEO_FPI/Interreg VA POCTEP.

References

- González, F., Moreno, C., López, M.J., Dino, R. & Antonioli, L. (2004). Palinoestratigrafía del Grupo Pizarroso-Cuarácítico del sector más oriental de la Faja Pirítica ibérica. *Rev. Española de Micropaleontología*, 36(2), 279-304.
- Matos, J.X., Pereira, Z., Rosa, C. & Oliveira, J.T. (2014). High resolution stratigraphy of the Phyllite-Quartzite Group in the northwest region of the Iberian Pyrite Belt, Portugal. *Comunicações Geológicas* 101, Esp. I, 489-493.
- Mendes, M., Pereira, Z., Matos, J.X., Albardeiro, L., Morais, I., Solá, R., Salgueiro, R., Pacheco, N., Araújo, V., Inverno, C. & Oliveira, J.T. (2020). New insights on the middle Givetian/middle Frasnian palynofloras from the Phyllite-Quartzite Formation in the Neves-Corvo mine region (IPB). *Revue de Micropaléontologie*, 68.
- Oliveira, J.T., Quesada, C., Pereira, Z. & Matos, J.X. (2019) South Portuguese Terrane. Cap. 6.2, in C. Quesada and J.T. Oliveira Eds., *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach*, Regional Geology Reviews.
- Pereira, Z., Matos, J.X., Fernandes, P. & Oliveira, J.T. (2008). Palynostratigraphy and Systematic Palynology of the Devonian and Carboniferous Successions of the South Portuguese Zone, Portugal. *Memórias INETI*, 34, 1-176.
- Pereira, Z., Matos, J. X., Solá, R., Batista, M. J., Salgueiro, R., Rosa, C., Albardeiro, L., Mendes, M., Morais, I., de Oliveira, D., Pacheco, N., Araújo, V., Castelo Branco, J. M., Neto, R., Lains Amaral, J., Inverno, C. & Oliveira, J.T. (2021). Geology of the recently discovered massive and stockwork sulphide mineralisation of Semblana, Rosa Magra and Monte Branco, Neves-Corvo mine, IPB. *Geological Magazine*.

Characterisation of the Maastricht and Kunrade «facies» of the late Maastrichtian to Danian Maastricht Formation in South Limburg, the Netherlands

Caracterização das «fácies» Maastricht e Kunrade do Maastrichtiano superior e Daniano do Limburgo do Sul, Países Baixos

M. Pimenta (1), M. Kroth (1,2), G.-J. Vis (2) and J.P. Trabucho Alexandre (1)

(1) Department of Earth Sciences, Utrecht University, m.pinheiropimenta@students.uu.nl

(2) TNO – Geological Survey of the Netherlands

Sumário: A Formação Maastricht é o aquífero mais importante do Limburgo do Sul. A formação foi informalmente subdividida em «fácies» Maastricht e Kunrade, tendo por base um diferente grau e estilo de cimentação. Apesar da importância da formação, as características (e.g., porosidade e permeabilidade) e heterogeneidade das «fácies» são desconhecidas. O estudo destas características é essencial para modelar o movimento de água subterrânea e de poluentes através do aquífero. Aqui, apresentamos novos dados de três afloramentos críticos que representam a heterogeneidade da formação: a oeste, a pedreira ENCI («fácies» Maastricht), a leste, a pedreira Kunrade («fácies» Kunrade) e entre as duas pedreiras, o afloramento de Dolkesberg (transição entre as «fácies»). Os nossos resultados mostram que as «fácies» Maastricht e Kunrade são semelhantes, mas apresentam diferente grau e estilo de cimentação. A cimentação das rochas da «fácies» Kunrade representa uma diminuição da qualidade do aquífero em direcção a leste.

Palavras-chave: Cretácico superior, Daniano, Formação Maastricht, Países Baixos, aquífero

Key words: upper Cretaceous, Danian, Maastricht Formation, Netherlands, aquifer

The upper Maastrichtian to Danian Maastricht Formation (Chalk Group) of the Campine Basin is found in the subsurface in Belgium. In South Limburg, the Netherlands, it crops out south of the Heerlerheide fault, where its thickness ranges from 45 to 90 metres (Zagwijn & Staalduin, 1975; Felder & Bosch, 2000; Herngreen & Wong, 2007). The formation consists of fine- to coarse-grained calcarenites (lithified calcareous sand composed of carbonate grains and carbonate cement) with intercalations of glauconitic limestones, fossiliferous beds, and hardgrounds.

The Maastricht Formation constitutes the main aquifer in South Limburg, characterised by high porosity and secondary permeability due to karstification and small-scale faults (Herngreen & Wong, 2007; Vries, 2007). An intensification of nitrate leaching into Dutch aquifers has occurred since 1950. In South Limburg, nitrate contamination of the aquifers is a severe problem for which no solution has yet been found (Klonowski *et al.*, 2001; Chu, 2020). The problem is partly due to inadequate characterisation of the rocks and a poor understanding of the stratigraphic architecture of the

unit. A detailed study of the Maastricht Formation is expected to contribute to solving this problem.

The Maastricht Formation has been informally subdivided into a Maastricht and a Kunrade «facies» based on the style and the degree of cementation of the rocks. Little is known, however, about the (primary) characteristics and heterogeneity of both «facies», including porosity and permeability, as well as their distribution.

To address this issue, we studied and sampled the (micro)facies of three key outcrops in South Limburg: in the west, the ENCI quarry, representing the Maastricht «facies»; in the east, the Kunrade quarry, representing the Kunrade «facies»; and between them, the outcrop of Dolkesberg, where the contact between both «facies» can be studied. The Maastricht «facies» in the ENCI quarry (Fig. 1A) is characterised by friable yellow fine- to coarse-grained calcarenite with horizons of flint nodules. The Kunrade «facies» in the Kunrade quarry is lithologically similar but with a clear alternation of friable (Fig. 1B) and hard (Fig. 1C) layers, a higher amount of quartz and glauconite grains, and no flint nodule horizons. The lower part of the Dolkesberg outcrop is similar to the friable calcarenites of the

ENCI quarry; towards the top, however, hard layers appear and the facies shows the same alternation that can be observed in the Kunrade quarry.

The primary characteristics of the maastricht and kunrade 'facies' are similar. The maastricht 'facies' is poorly cemented and has high porosities throughout. The kunrade 'facies' has lower porosities than the maastricht 'facies' and exhibits an alternation

between decimetre-thick layers of relatively high porosity and decimetre-thick layers of little to no porosity. This cementation style of the kunrade 'facies' in the east of the outcrop area represents a decline in aquifer quality in that direction.

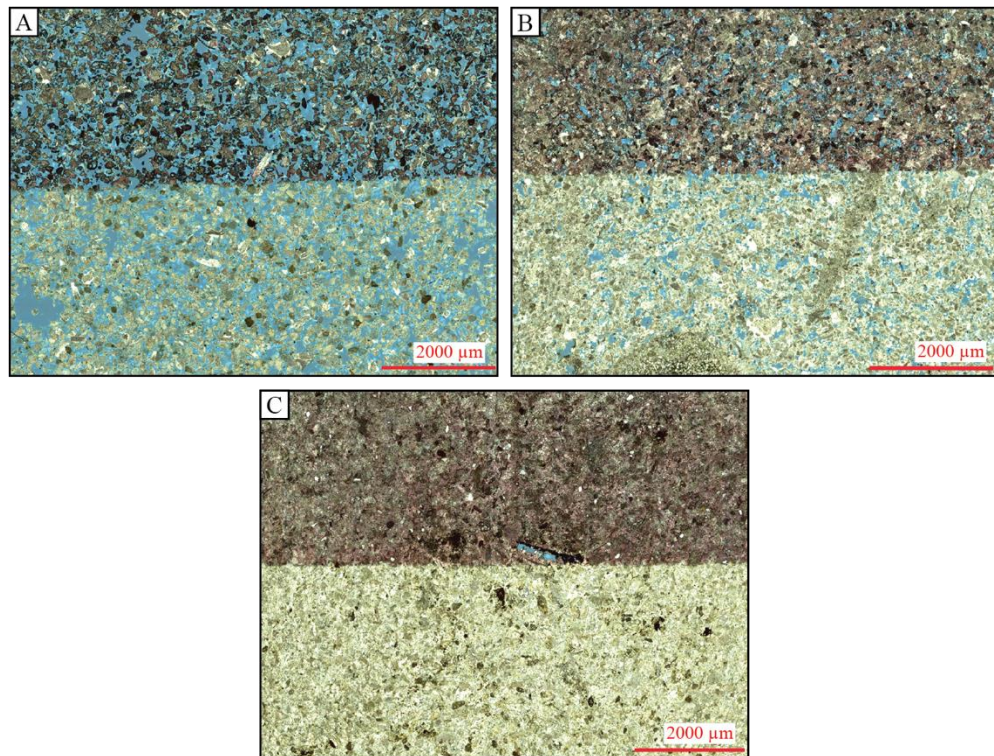


Fig. 1. Plane polarised light micrographs of representative microfacies of the Upper Cretaceous of South Limburg. The upper half of each image is stained with alizarin red-S and potassium ferricyanide and the whole thin section is stained blue for porosity. A: Poorly cemented, high porosity maastricht 'facies' in the westernmost ENCI quarry. B: Higher porosity kunrade 'facies' in the Kunrade quarry farther east in South Limburg. C: Well-cemented kunrade 'facies' with very low porosity from Kunrade quarry. From A to C a decrease in porosity can be observed. The kunrade 'facies' alternates between higher porosity and little to no porosity layers on the decimetre scale.

References

- Chu, L.Y. (2020). Rethinking Parks in a Shrinking Setting: The Marrying of Social Restoration for a New Urban Park Model in Parkstad Limburg. Delft University of Technology. MSc Graduation Report, 4848470.
- Felder, W.M & Bosch, P.W. (2000). Krijt van Zuid-Limburg. Geologie van Nederland 5. Nederlands Instituut voor Toegepaste geowetenschappen TNO.
- Herngreen, G.F.W. & Wong, T. (2007). Cretaceous. *In*: T.E. Wong, D.A.J. Batjes & J. de Jager (eds.) *Geology of the Netherlands*. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 127–150.
- Klonowski, M., van Lanen, H. & Dijkma, R. (2001). Groundwater flow and nitrate migration in a Dutch-Belgian chalk catchment; observed and future concentrations. *Geological Quarterly*, 45, 53–66.
- Vries, J.J. (2007). Groundwater. *In*: T.E. Wong, D.A.J. Batjes & J. de Jager (eds.) *Geology of the Netherlands*. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 295–315.
- Zagwijn, W.H. & Staalduin, C.J. (1975). Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geologische Dienst.

Evolução faciológica da Formação de Morrison do Jurássico Superior no centro-norte do Wyoming (Bacia de Bighorn)

Facies evolution of the Upper Jurassic Morrison Formation in north-central Wyoming (Bighorn Basin)

C. Sequero* (1), E. Puértolas (1,2), L. Ezquerro (2), A. Saleiro (1,3), F.M. Rotatori (1,3), F. Costa (1,3,4), A.R.D. Guillaume (1,3), A.E. Fernandes (5,6), O.W.M. Rauhut (5,6,7), V. Beccari (5), C. Mehling (8) e M. Moreno-Azanza (1,2)

(1) GeoBioTec, Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA Lisboa, Campus Caparica. 2829-516 Caparica, Portugal. *cs.lopez@fct.unl.pt

(2) Grupo Aragosaurus-IUCA, Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, Calle Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Espanha

(3) Museu da Lourinhã. Rua João Luís de Moura 95, 2530-158, Lourinhã, Portugal

(4) LNEG Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Estr. da Portela 999, Amadora, Portugal

(5) SNSB, Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie, Richard-Wagner-Straße 10, 80333 München, Alemanha

(6) Department for Earth and Environmental Sciences, Palaeontology and Geobiology, Ludwig-Maximilians-Universität, Richard Wagner-Str. 10, 80333 Munich, Alemanha

(7) GeoBioCenter, Ludwig-Maximilians-Universität, Richard-Wagner-Str. 10, 80333, Munich, Alemanha

(8) American Museum of Natural History, Division of Paleontology, Fossil Amphibian, Reptile, and Bird Collections & Fossil Plant Collections, New York, EUA

Summary: *The Upper Jurassic Morrison Formation (Fm) in the west-central USA represents deposition in a fluvial system. Known worldwide as one of the wealthiest units in vertebrate fossil remains, there is an increasing interest in sedimentological works reconstructing the palaeoenvironments in which the faunas evolved. Here we describe the sedimentary evolution of two well-exposed sections of the Morrison Fm outcropping in north-central Wyoming (Bighorn Basin). In this sector, the Morrison Fm (110 m-thick) is mainly represented by intercalated mudstones and sandstones facies corresponding to floodplain and fluvial channel deposits. The floodplain facies encompass purplish to reddish mudstones with local gypsum concretions and carbonate levels. The fluvial-channel deposits include tabular to lenticular sandstone bodies with cross-stratification. General semiarid conditions prevailed during the deposition of this unit. Changes in climate or accommodation space led to different depositional stages, with variations in fluvial architecture and water-level oscillations in the floodplain areas.*

Key words: *Late Jurassic, Morrison Formation, Fluvial system, Palaeoenvironmental reconstruction, Depositional stages*

Palavras-chave: Jurássico Superior, Formação de Morrison, Sistema fluvial, Reconstrução paleoambiental, Estágios deposicionais

Os depósitos terrestres da Formação (Fm) de Morrison do Jurássico Superior (Kimmeridgiano-Titoniano) do Interior Ocidental dos EUA (Colorado Plateau), são conhecidos mundialmente pela sua abundância e diversidade de vestígios fósseis de vertebrados. A sequência das inúmeras descobertas paleontológicas nesta unidade nas últimas décadas tem gerado um interesse crescente em trabalhos sedimentológicos que proporcionem uma reconstrução dos paleoambientes em que as faunas evoluíram (e.g., Turner & Peterson, 2004; Jennings et al., 2011). Aqui, apresentamos um estudo paleoambiental preliminar baseado numa descrição sedimentológica detalhada de duas seções da Fm Morrison do Jurássico Superior na Bacia de Bighorn (centro-norte

do Wyoming), separadas por 2 km, e correlacionáveis através do reconhecimento das sequências deposicionais observadas.

A Fm Morrison do Jurássico Superior, exposta na área de estudo tem 110 m de espessura, e é representada principalmente por margas e argilitos intercalados com corpos de arenitos tabulares a lenticulares, que registram deposição em planícies de inundação e canais fluviais, respetivamente (Fig. 1). Os depósitos de inundação abrangem desde margas avermelhadas com rizólitos e nódulos calcários, até argilitos arroxeados a acinzentados com gesso nodular ocasional. Os depósitos fluviais são representados principalmente por corpos arenosos acinzentados a alaranjados de granulação fina a média com estratifi-

cação cruzada, formando tanto canais isolados como amalgamados, depositados num sistema fluvial misto entrançado-meandriforme. Também são reconhecidos lóbulos do *crevasse-splay* (representados por arenitos tabulares finos de granulação fina) e camadas calcárias lacustres, bem como camadas de carvão e restos de madeira fóssil, indicando que algumas planícies de inundação foram, pelo menos pontualmente, extensivamente vegetadas.

Seis sequências deposicionais foram identificadas, sendo marcadas por mudanças abruptas das fácies, que representam variações no espaço de acomodação ou no clima. Em geral, a deposição ocorreu num clima semiárido, com oscilações do nível da água na planície de inundação: as margas

avermelhadas com bioturbação e precipitação carbonatada representam episódios de exposição subaérea prolongada, enquanto os argilitos arroxeados-acinzentados com camadas calcárias lacustres pontuais foram depositados em planícies de inundação mal drenadas com formação de lagos efêmeros. No topo da sucessão é encontrado gesso nodular em argilitos acinzentados, o que indica precipitação durante episódios de maior evaporação. Mudanças na arquitetura fluvial, ou seja, de cinturões de canais isolados para amalgamados, podem estar relacionadas com variações no espaço de acomodação, associadas a flutuações no nível de base, que podem ser influenciadas por actividade tectónica, variações do nível do mar, ou ambas.



Fig. 1. Visão geral da Fm Morrison na área de estudo (centro-norte do Wyoming, EUA). Mudanças na coloração estão relacionadas a variações nas condições deposicionais, desde períodos prolongados de exposição subaérea (margas avermelhadas) até planícies de inundação mal drenadas com formação de lagos efêmeros (argilitos arroxeados-acinzentados)

Agradecimentos: Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto «PTDC/CTA-PAL/2217/2021». Os autores também agradecem ao American Museum of Natural History (New York) pelo apoio e fornecimento do material necessário para este trabalho.

Referências

- Jennings, D.S., Lovelace, D.M. & Driese, S.G. (2011). Differentiating paleowetland subenvironments using a multidisciplinary approach: an example from the Morrison Formation, south central Wyoming, USA. *Sedimentary Geology*, 238, 23-47.
- Turner, C.E. & Peterson, F. (2004). Reconstruction of the Upper Jurassic Morrison Formation extinct ecosystem – a synthesis. *U.S. Sedimentary Geology*, 167, 309-355.

Reavaliação estratigráfica da Formação de Coimbra (Sinemuriano) através de dados de radiação gama em sondagens

Stratigraphic re-evaluation of Coimbra Formation (Sinemurian) through gamma-ray in wells

J. M. Sousa (1), L. V. Duarte (2) e S. L. R. Sêco (3)

(1) MARE – Universidade de Coimbra, Portugal – joaomiguelsousa007@gmail.com

(2) Universidade de Coimbra, MARE e Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal

(3) Universidade de Coimbra, IDL e Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal

Summary: *Subsurface stratigraphic data on the Lusitanian Basin need to be better interpreted, and the conceptualization of its evolution is mostly constrained to outcrop studies. Gamma-ray spectrometry has shown promise in the subsurface of organic marly successions by correlating geological units, identifying marly and organic-rich intervals, and providing sequence analysis. In this investigation, this method is applied to the Coimbra Formation recorded in 19 onshore and offshore wells, providing new insights into this unit's stratigraphy and its sequential evolution.*

Key words: *Coimbra Formation, gamma-ray, carbonates, organic-rich marls, Lusitanian Basin*

Palavras-chave: Formação de Coimbra, radiação gama, sedimentos carbonatados, margas ricas em matéria orgânica, Bacia Lusitânica

Sendo uma das poucas bacias sedimentares jurássicas, peri-atlânticas, com extensa exposição superficial de unidades carbonatadas, a Bacia Lusitânica (BL) beneficia de um conhecimento estratigráfico bastante detalhado em *onshore* (e.g. Duarte & Soares 2002; Azerêdo *et al.* 2003; Kullberg *et al.* 2013). No entanto, este conhecimento contrasta com os dados disponíveis de subsuperfície, tanto nas conhecidas dificuldades cronostatigráficas, como na definição litostratigráfica que é, por vezes, extremamente restrita, desde uma resolução grosseira dos limites estratigráficos, a erros associados à interpretação faciológica das unidades. Apesar destas limitações, estudos baseados na análise de Radiação Gama Total (RGT) têm revelado um enorme potencial na definição estratigráfica de sucessões margo-calcárias e, em especial, de unidades margosas ricas em matéria orgânica (e.g. Correia *et al.* 2012; Sêco *et al.* 2018). Com este enquadramento e sucesso metodológico, o presente trabalho tem como objetivos reinterpretar os limites litostratigráficos da Formação (Fm) de Coimbra, registada em 19 sondagens *onshore* e *offshore* da BL e identificar os seus intervalos mais margosos, consoante a variação dos padrões radiométricos, e a sua subsequente análise sequencial. Um dos intuitos é também o reconhecimento dos intervalos ricos em matéria orgânica registados nesta unidade, essencialmente na porção mais ocidental da bacia (e.g. Duarte *et al.* 2014, 2022; Sêco *et al.* 2018). A Fm de Coimbra insere-se no contexto da BL como a

primeira unidade predominantemente carbonatada, dolomítica e calcária, de idade sinemuriana (Jurássico Inferior), que se sobrepõe a uma unidade argilo-evaporítica (Hetangiano) e antecede uma espessa sucessão margo-calcária do Sinemuriano superior e do Pliensbaquiano, a Fm de Água de Madeiros (e.g. Duarte & Soares 2002; Azerêdo *et al.* 2003; Dimuccio *et al.* 2016).

A análise e reinterpretação da Fm de Coimbra nos relatórios de sondagem envolveu a observação detalhada das características litológicas e os padrões de variação da RGT. Assim, definiu-se a unidade em causa a partir da última ocorrência de fácies evaporíticas (anidrite), em que os valores de RGT se aproximam do limite inferior da técnica que contrastam, muitas vezes, com grande variação das margas/argilitos aos quais se intercalam; e o término no instante de crescimento exponencial dos valores de RGT, na transição para as margas e calcários margosos da Fm de Água de Madeiros (cujo RGT máximo pode variar entre os 45 e os 120 API - *American Petroleum Institute*). Com isto verificou-se a necessidade de ajustes, por vezes bastante significativos, na definição dos limites litostratigráficos da Fm de Coimbra registada nas diversas sondagens: as sondagens Carapau-1, Monte Real Oeste-9, São Pedro de Moel-2, Sobral-1, Golfinho-1 e Pescada-1, que não tinham um, ou ambos os limites litostratigráficos definidos da Fm de Coimbra; em sondagens como 14C-1A, São Mamede-1, Gaiteiros-1 e Montijo-1, são apresentadas

correções aos limites em dezenas de metros. Apesar de se demonstrar uma variabilidade faciológica de tendência geral, com domínio da fração dolomítica nas porções mais orientais da bacia e da fração calcária nos domínios mais ocidentais, define-se uma área no centro da BL em que tal não acontece, o que parece indicar que as condições faciológicas serão mais diversificadas. Demonstra-se, ainda, que a Fm de Coimbra pode ser quase na sua totalidade de composição calcária (Carapau-1), ou dolomítica (Aljubarrota-2). Relativamente à variação da RGT nesta formação, a sucessão é dominada por carbonatos (cujos valores médios entre as sondagens oscilam entre os 10 e os 40 API), onde se intercalam, no máximo, quatro principais intervalos margosos (unidades A, D, F e H, definidas em Duarte *et al.* 2014, 2022), e que se podem correlacionar lateralmente. O primeiro, correlacionável com o topo da unidade A ou o seu equivalente lateral e o segundo, correlacionável com o intervalo margoso da unidade D ou também o seu equivalente lateral, apresentam nas sondagens variações com máximos de 112 e 80 API,

respetivamente, e que nem sempre estão presentes ou identificáveis em algumas sondagens localizadas no centro, e sul da BL. O terceiro intervalo, correlacionável com a unidade F, ou seu equivalente lateral, encontra-se perfeitamente identificado em todas as sondagens analisadas, sendo também o mais espesso, e apresenta valores máximos de 100 API, constituindo o mais promissor em conteúdo de matéria orgânica. O quarto intervalo é correlacionável com a secção margosa da unidade H ou o seu equivalente, e apresenta máximos de 100 API. Entre estes quatro intervalos margosos definem-se três ciclos T-R de 3ª ordem, inseridos num ciclo transgressivo de 2ª ordem com a sua expressão máxima no topo da Fm de Água de Madeiros (Duarte *et al.* 2010, 2022), que se reconhecem de forma total, ou parcial em todas as sondagens. Este trabalho vem demonstrar o sucesso da aplicação da espectrometria de raios gama para a reinterpretação estratigráfica em sucessões carbonatadas com alguma componente margosa, fornecendo novos dados ao estudo e evolução da BL.

Agradecimentos: Os autores agradecem à ENMC/UPEP, atual competência da DGEG, pela disponibilidade dos relatórios das sondagens. À FCT, através dos projetos UIDB/04292/2020, UIDP/04292/2020, e LA/P/0069/2020.

Referências

- Azerêdo, A. C., Duarte, L. V., Henriques, M. H. & Manuppella, G. (2003). Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos da Geologia de Portugal*, Instituto Geológico e Mineiro.
- Correia, G. Duarte, L. V., Pereira, A. & Silva, R. L. (2012). Outcrop Spectral Gamma-Ray applications to the Sinemurian-Pliensbachian organic-rich facies of the Lusitanian Basin (Portugal). *Journal of Iberian Geology*, 38 (2), 373-388.
- Dimuccio, L. A., Duarte, L. V. & Cunha, L. (2016). Definição litostratigráfica da sucessão calcodolomítica do Jurássico Inferior da região de Coimbra-Penela (Bacia Lusitânica, Portugal). *Comunicações Geológicas*, 103, 1-19.
- Duarte, L. V., Silva, R. L., Azerêdo, A. C., Comas-Rengifo, M. J., & Mendonça Filho, J. G. (2022). Shallow-water carbonates of the Coimbra Formation, Lusitanian Basin (Portugal): Contribution to the integrated stratigraphic analysis of the Sinemurian sedimentary sucessions in the western Iberian Margin. *Comptes Rendus. Géoscience*, 354(S3), 1-18
- Duarte, L. V., Silva, R. L., Azerêdo, A. C., Paredes, R. & Rita, P. (2014). A Formação de Coimbra na região de S. Pedro de Moel (Oeste de Portugal). *Caracterização litológica, definição litostratigráfica e interpretação sequencial. Comunicações Geológicas*, 101, Especial I, 421-425.
- Duarte, L. V., Silva, R. L., Oliveira, L. C. V., Comas-Rengifo, M. J. & Silva, F., (2010). Organic-rich facies in the Sinemurian and Pliensbachian of the Lusitanian Basin, Portugal: Total Organic Carbon distribution and relation to the transgressive-regressive facies cycles. *Geol. Acta* 8 (3), 325-340.
- Sêco, S. L. R., Duarte, L. V., Pereira, A. J. S. C. & Silva, R. L. (2018). Field gamma-ray patterns and stratigraphic reinterpretation of offshore well-log data from Lower Jurassic organic-rich units of the Lusitanian Basin (Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, 98, 860-872.
- Kullberg, J. C., Rocha, R. B., Soares, A. F., Rey, J., Terrinha, P., Azerêdo, A. C., Callapez, P., Duarte, L. V., Kullberg, M. C., Martins, L., Miranda, R., Alves, C., Mata, J., Madeira, J., Mateus, O., Moreira, M., & Nogueira, C. R., (2013). A Bacia Lusitânica: estratigrafia paleogeografia e tectónica. In R. DIAS, A. Araújo, P. Terrinha e J. C. Kullberg, (Eds.). *Geologia de Portugal*, Vol. II. Livraria Escolar Editora, 195-347.

A importância da Formação de Coimbra no contexto dos sistemas petrolíferos da Bacia Lusitânica

Importance of Coimbra Formation for the Lusitanian Basin's petroleum systems

J. M. Sousa (1), L. V. Duarte (2) e S. L. R. Sêco (3)

(1) MARE – Universidade de Coimbra, Portugal – joaomiguelsousa007@gmail.com

(2) Universidade de Coimbra, MARE e Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal

(3) Universidade de Coimbra, IDL e Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal

Summary: Supported by the analysis of 19 onshore and offshore wells in the western Lusitanian Basin (Portugal), a characterization of the petroleum potential of the Coimbra Formation (Fm), a carbonate unit of Sinemurian age (Lower Jurassic), is presented. The good stratigraphic, sedimentologic and geochemical knowledge in outcrop, gamma-ray log analysis allows evidencing of vertical and lateral variability of main organic-rich intervals in this unit, assuming the Coimbra Fm as one source rock in this basin. The occurrence of oil and gas in the Coimbra Fm recorded in 10 of 19 studied wells proves the existence of several petroleum systems.

Keywords: Coimbra Formation, gamma-ray, petroleum systems, Lower Jurassic, Lusitanian Basin

Palavras-chave: Formação de Coimbra, radiação gama, sistemas petrolíferos, Jurássico Inferior, Bacia Lusitânica

A Formação (Fm) de Coimbra é a unidade predominantemente carbonatada mais antiga, de idade mesozoica, da margem ocidental Ibérica, sendo genericamente composta por dolomitos na base e calcários no topo (e.g. Azerêdo et al. 2003; Dimuccio et al. 2016). Anteriormente desvalorizada enquanto uma das unidades geradoras na Bacia Lusitânica (BL), estudos recentes comprovam o seu potencial de geração de hidrocarbonetos. A análise geoquímica de intervalos ricos em matéria orgânica desta unidade em afloramento, indicaram valores de carbono orgânico total acima dos 10 %, com querogénio de composição maioritariamente de origem algal. Dados de pirólise Rock-Eval demonstraram um bom a excelente potencial para a geração de petróleo (ver Duarte et al. 2013, 2022; Poças Ribeiro et al. 2013; Brito et al. 2017). Paralelamente a este facto, e dada a sua natureza mais carbonatada, entre todas as unidades do Jurássico Inferior, a Fm de Coimbra tem sido apontada como potencial reservatório (e.g. Brito et al. 2017, e referências aí contidas). Neste âmbito, e considerando a recente revisão litostratigráfica e sedimentológica da Fm de Coimbra registada em 19 sondagens (fig. 1), com base em dados descritivos e de radiação gama total (RGT) (ver também Sêco et al., 2018, 2019; Sousa et al., 2023), é feita uma análise do potencial petrolífero desta unidade, através da identificação dos principais intervalos

ricos em matéria orgânica nas diferentes sondagens, e especulando a possível origem das acumulações de hidrocarbonetos ali encontrados.

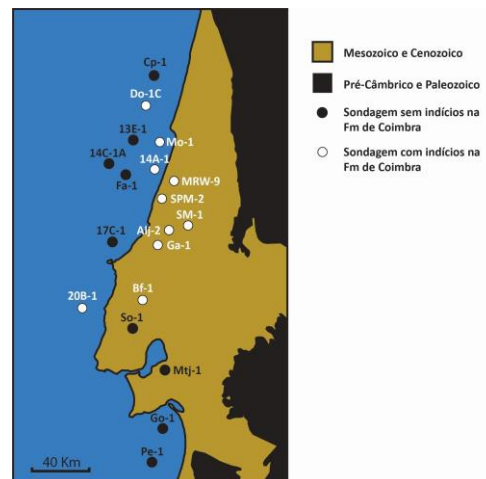


fig. 1. Localização geográfica das sondagens analisadas enquadrando a BL e o socal, e diferenciando as sondagens que revelaram indícios de petróleo ou gás na Fm de Coimbra.

Após a delimitação rigorosa desta unidade (ver Sousa et al., 2023), e com base nos registos de RGT, identificaram-se os principais possíveis intervalos ricos em matéria orgânica presentes nas referidas sondagens (fig. 1). À semelhança do preconizado em Duarte et al. (2013, 2022) e Sêco et al. (2018), neste estudo demonstra-se a existência na sucessão carbonatada da Fm de Coimbra de um intervalo particularmente

margoso (unidade F; Duarte et al., 2014), que é correlacionável entre todas as sondagens. Este intervalo margoso apresenta, de modo mais persistente, os maiores valores de RGT (entre 40 a 100 API), o que sugere, também, uma maior acumulação de matéria orgânica. Entre as sondagens com valores máximos de RGT neste intervalo, destacam-se as sondagens Dourada-1C (83 API), 14A-1 (91 API) e Monte Real Oeste-9 (72 API), o que configura uma área centrada na região noroeste da BL, com rochas potencialmente geradoras (fig. 1). No entanto, acresce a este setor a sondagem Benfeito-1, localizada mais a sul na bacia (100 API). Esta última informação, contrasta com estudos anteriores que consideravam o potencial de geração da Fm de Coimbra restrito ao norte da bacia (ver Brito et al. 2017).

Entre as sondagens selecionadas e trabalhos anteriores de caracterização geoquímica (Uphoff 2005; Brito et al.

2017), associou-se a possível origem dos indícios de hidrocarbonetos (petróleo e gás) encontrados nestas sondagens. Neste âmbito, discute-se a possível existência de vários sistemas petrolíferos associados à Fm de Coimbra, em que esta atua como geradora e reservatório. Para além da origem de hidrocarbonetos na própria unidade em estudo, é possível que algumas das suas evidências tenham proveniência em unidades anteriores à Fm de Coimbra. Factos passíveis de serem confirmados a partir de dados geoquímicos.

Com a presente análise de dados de subsuperfície, confirma-se a grande importância da Fm de Coimbra no contexto dos sistemas petrolíferos da BL, sendo evidenciada a sua participação enquanto unidade geradora e unidade reservatório.

Agradecimentos: Os autores agradecem à ENMC/UPEP, atual competência da DGEG, pela disponibilidade dos relatórios das sondagens. À FCT, através dos projetos UIDB/04292/2020, UIDP/04292/2020, e LA/P/0069/2020.

Referências

- Azerêdo, A. C., Duarte, L. V., Henriques, M. H. & Manuppella, G. (2003). Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos da Geologia de Portugal, Instituto Geológico e Mineiro*.
- Brito, M., Rodrigues, R., Baptista, R., Duarte, L. V., Azerêdo, A. C. & Jones, C. M. (2017). Geochemical characterization of oils and their correlation with Jurassic source rocks from the Lusitanian Basin (Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, 151-176.
- Dimuccio, L. A., Duarte, L. V. & Cunha, L. (2016). Definição litostratigráfica da sucessão calcodolomítica do Jurássico Inferior da região de Coimbra-Penela (Bacia Lusitânica, Portugal). *Comunicações Geológicas*, 103, 1-19.
- Duarte, L. V., Silva, R. L., Azerêdo, A. C., Comas-Rengifo, M. J., & Mendonça Filho, J. G. (2022). Shallow-water carbonates of the Coimbra Formation, Lusitanian Basin (Portugal): Contribution to the integrated stratigraphic analysis of the Sinemurian sedimentary successions in the western Iberian Margin. *Comptes Rendus. Géoscience*, 354(S3), 1-18.
- Duarte, L. V., Silva, R. L., Azerêdo, A. C., Paredes, R. & Rita, P. (2014). A Formação de Coimbra na região de S. Pedro de Moel (Oeste de Portugal). *Caracterização litológica, definição litostratigráfica e interpretação sequencial. Comunicações Geológicas*, 101, Especial I, 421-425.
- Duarte, L. V., Silva, R. L. & Mendonça Filho, J. G. (2013). Variação do COT e pirólise Rock-Eval do Jurássico Inferior da região de S. Pedro de Moel. *Potencial de geração de hidrocarbonetos. Comunicações Geológicas*, 100, Especial I, 107-111.
- Poças Ribeiro, N., Mendonça Filho, J. G., Duarte, L. V., Silva, R. L., Mendonça, J. O. & Silva, T. F. (2013). Palynofacies and organic geochemistry of the Sinemurian carbonate deposits in the western Lusitanian Basin (Portugal): Coimbra and Água de Madeiros Formations. *International Journal of Coal Geology*, 111, 37-52.
- Sêco, S. L. R., Duarte, L. V., Pereira, A. J. S. C. & Silva, R. L. (2018). Field gamma-ray patterns and stratigraphic reinterpretation of offshore well-log data from Lower Jurassic organic-rich units of the Lusitanian Basin (Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, 98, 860-872.
- Sêco, S. L. R., Silva, R. L., Watson, N., Duarte, L. V., Pereira, A. J. S. C. & Wach, G. (2019). Application of petrophysical methods to estimate total organic carbon in Lower Jurassic source rocks from the offshore Lusitanian Basin (Portugal). *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 180, 1058-1068.
- Sousa, J. M., Duarte, L.V. & Sêco, S. L. R. (2023). Reavaliação estratigráfica da Formação de Coimbra (Sinemuriano) através de dados de radiação gama em sondagens. *XI CNG 2023, Coimbra, 17-19 de julho*.
- Uphoff, T. L. (2005). Subsalt (pre-Jurassic) exploration play in the northern Lusitanian basin of Portugal. *AAPG Bulletin*, 89 (6), 699-7.

Play-Based Exploration of unconventional gas in the pre-Deccan Cretaceous sequence of the offshore Indus Basin, Pakistan

Avaliação geológica para a exploração de gás não convencional na sequência pré-Decão do Cretáceo no offshore da Bacia Indo, Paquistão

Y. Shahzad (1), I. Pereira (2), R. Pereira (3, 4) and R. Pena dos Reis (2)

(1) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, yasishzd@gmail.com

(2) Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, Coimbra

(3) GeoBioTec, Dep. Ciências da Terra, FCT-UNL, Monte de Caparica, Portugal

(4) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz, Lisbon, Portugal

Sumário: Esta investigação avalia o potencial de hidrocarbonetos (HC) do sistema petrolífero do Cretáceo na Bacia offshore do Indo, no Paquistão. A Bacia do Indo desenvolve-se em ambiente de margem passiva, sendo que à passagem do Cretáceo para o Paleogénico ocorreu um importante evento vulcânico, que levou à formação dos basaltos do Decão. O potencial em HC destas unidades tem vindo a ser estabelecido no onshore da Bacia Indo, sendo que existem algumas explorações em curso. No offshore, e até agora, apenas um poço conseguiu perfurar os basaltos do Decão alcançando as unidades sedimentares do Cretáceo que estão abaixo. Neste trabalho, analisamos e apresentamos os principais elementos do sistema petrolífero cretácico, nomeadamente as rochas-fonte, reservatórios, armadilhas e selos. Os dados disponíveis de sísmica e do poço offshore indicam que os mesmos elementos parecem ocorrer offshore, e por isso pode haver algum potencial para gás no offshore da Bacia Indo,

Palavras-chave: Avaliação geológica para exploração, Sistema Petrolífero, gás não convencional, Bacia do Indo

Key words: Play-Based Exploration, Petroleum system, unconventional gas, Indus Basin

The Indus Basin is part of a passive margin, located south of Pakistan and NW India (Fig. 1). The Indus Basin (divided into lower, upper, and offshore) records the rifting episodes from the late Cretaceous, overlain by the basaltic deposits from the Deccan volcanic event (Carmichael et al. 2009). Upper Cretaceous successions comprise marine shales and sandstones with hydrocarbon potential. To date, limited exploration has been conducted in the offshore Indus Basin, with only one offshore borehole extending beyond the Deccan volcanics (Fig. 2). This research aims to evaluate the non-conventional gas potential of the Cretaceous sequence in the offshore Indus Basin by implementing a Play-Based Exploration workflow. However, unravelling the details of the sub-basalt play is hampered by the limited quality of seismic data, primarily impacted by imaging issues associated with signal attenuation caused by the volcanic rocks.

On the onshore Indus Basin, the sequence is complete. It includes the lower Cretaceous shales of the Sembar Formation (Fm), laterally equivalent to the Chichali Fm sandstone overlain by argillaceous sandstones of the Goru Fm of Lower to Upper Cretaceous age. The Goru Fm can be subdivided into Lower and Upper Goru, revealing an increased shale component. Limestones of the Parh Fm overlie these units and then by sandstones of the Pab Fm.

Onshore, this sequence extends to the Neogene without any unconformities (Amjad et al. 2021), although locally capped by the Deccan volcanics (Carmichael et al. 2009). Previous works have confirmed the potential of the Sembar shales as a source rock (total organic carbon of 3.5 wt.%) and of the Lower Goru argillaceous sandstones and the Pab Fm sandstones as gas reservoirs (Amjad et al. 2021).



Fig. 1. Geographic location map depicting offshore Indus Basin study area. The locations of six boreholes are given, three on the shoreline and three offshore (modified from Carmichael et al., 2009).

The data from well Dabbo Creek-1 (Fig. 2) and the seismic profiles indicate the presence of the Lower Cretaceous Sembar shales in the offshore (Khan et al.

2020). In unconventional systems in the lower Indus Basin, the source and reservoir rocks are often the same due to the low permeability and porosity of these formations. This results in the trapping of hydrocarbons within the rock that generated them, forming both the source and the reservoir. The Lower Goru and Pab Fms have been identified as reservoirs in the offshore Indus Basin of Pakistan (Wandrey et al. 2004). The known seals in the system are composed of shales interbedded with and overlying the reservoirs, especially intra-formational shales in the Lower Goru reservoir. Several fault traps in the offshore are associated with horst and graben structures, inherited from the rifting episodes (Shuaib 1982). The temporal associations among trap formation and various stages of hydrocarbon occurrence, including generation, expulsion,

migration, and entrapment, vary throughout the Indus Basin. In the foreland portion, the development of structural traps precedes hydrocarbon generation, particularly in the Lower Indus Basin (Wandrey et al. 2004).

In conclusion, the well Dabbo Creek-1, the sole offshore well in the Indus Basin to have reached the Sembar Fm and other Cretaceous units, confirm the presence of the source rock in the offshore. However, these appear at greater depths. Our aim is to integrate the newly acquired seismic profile data with the updated borehole geological correlation to elaborate a comprehensive understanding of the petroleum system in the offshore region of the Indus Basin. This analysis will enable us to test the offshore area's exploration potential and production.

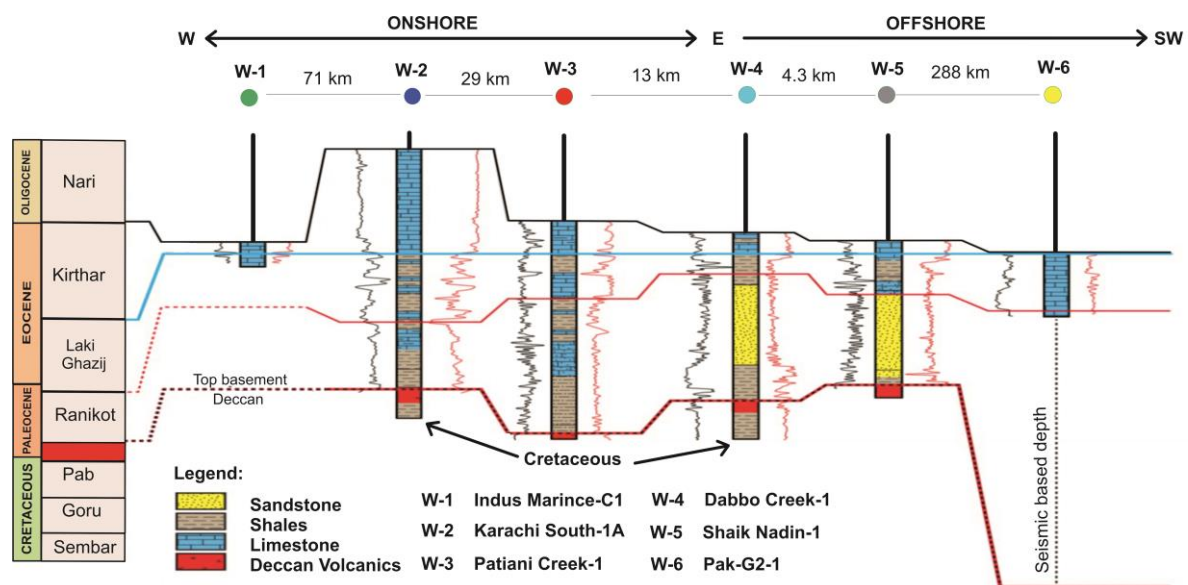


Fig. 2. Simplified stratigraphic cross-section of the boreholes drilled onshore and offshore in the Indus Basin. Cretaceous shales were discovered during the drilling of wells Karachi South A-1 (onshore) and Dabbo Creek 1 (offshore) (After Shahzad, et al. 2009).

Acknowledgements: Y. Shahzad thanks FCT for the PhD scholarship UI/BD/150822/21. This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds (PIDDAC) UIDB/00073/2020-CGEO and UIDB/04035/2020-GeoBioTec.

References

Amjad, M. R., Khan, S., NISAR, U. B., Shakir, U., & Ahmed, K. A. (2022). Exploring the untapped gas potential of Ghazij shale in Pirkoh area, Pakistan: Integrated approach of attribute analysis and maturity modeling. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 31(1), 1-19.

Carmichael, S. M., S. Akhter, J. K. Bennett, M. A. Fatimi, K. Hosein, R. W. Jones, M. B. Longacre, M. J. Osborne, and R. S. J. Tozer. (2009) "Geology and hydrocarbon potential of the offshore Indus Basin, Pakistan." 107-116.

Khan, M., Liu, Y., Farid, A., & Ahmed, H. (2020). Indications of uplift from seismic stratigraphy and backstripping of the well data in western Indus offshore Pakistan. *Geological Journal*, 55(1), 553-570.

Shahzad, K., Betzler, C., & Qayyum, F. (2019). Controls on the Paleogene carbonate platform growth under greenhouse climate conditions (Offshore Indus Basin). *Marine and Petroleum Geology*, 101, 519-539.

Shuaib, S. M. (1982). Geology and hydrocarbon potential of offshore Indus Basin, Pakistan: Geologic notes. *AAPG Bulletin*, 66(7), 940-946.

Wandrey, C.J., Law, B.E., & Shah, H.A. (2004). Sembar Goru/Ghazij composite total petroleum system, Indus and Sulaiman-Kirthar geologic provinces, Pakistan and India. *Reston, VA, USA: US Department of the Interior, US Geological Survey. USGS Bulletin 220.*

SESSÃO CIENTÍFICA 6 (SC_6)
(Geologia Marinha)

Conveners: Pedro Costa; João Duarte; Pedro Terrinha

Inundação tsunamigénica e extensão deposicional na Boca do Rio e Salgados (Algarve)

Tsunamigenic inundation and depositional extension in Boca do Rio and Salgados (Algarve)

J. Caetano (1), P. Costa (1,2), S. Teixeira (3) e C. Andrade (2,4)

- (1) Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal, jokaetas@gmail.com
- (2) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal
- (3) Agência Portuguesa do Ambiente, Faro, Portugal
- (4) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal

Summary: Through the comparison of the inundation distances reached on the Algarve coast by the 1755 tsunami and the variation of the corresponding deposit thickness it is observed that the accommodation space is key to define the relation between the terrestrial limit of the deposit and the maximum extension of the inundation. Through the analysis in GIS environment, it was demonstrated how the coastline morphology influences the thickness and extent of the deposit.

Key words: inundation distance, run-up, accommodation space, CE 1775 tsunami.

Palavras-chave: distancia de inundação, altura de galgamento, espaço de acomodação, tsunami de 1775.

Introdução

Para os decisores e gestores costeiros é importante conhecer a extensão horizontal de inundações tsunamigénicas para acautelar faixas de salvaguarda e desenvolver estratégias de adaptação a eventos futuros. Partindo do arquivo sedimentar e documental do tsunami de 1755 no Algarve, investigaram-se relações empíricas entre as assinaturas sedimentares e a extensão da inundação referida em documentos históricos.

Métodos e Resultados

Para tal, consideram-se dois casos de estudo, nas baixas aluvio-lagunares da Boca do Rio (BDR) e Salgados (SG) (costa algarvia, Fig. 1), onde se modelou a variação da espessura do depósito deste evento em ambiente SIG (QGIS). Os elementos de base utilizados na investigação das relações enunciadas acima encontram-se resumidos na Tabela I. Apesar de alguma subjetividade intrínseca, os dados históricos indicam distâncias de inundação diversas, de 1500 a 2500 m, mas ambas claramente superiores às inferidas do registo sedimentar. Os dados geológicos sugerem que em BDR o depósito tem maior extensão e espessura que em SG, sendo provável a influência de estruturas geomorfológicas locais e utilização dos talwegues das ribeiras que drenam para BDR no encaminhamento da água

para montante, justificando a maior representatividade litoestratigráfica do depósito na região montante. Evidenciam ainda a relevância do tardoz dunar, a cerca de 240 m da linha de costa, onde o depósito de tsunami apresenta espessura significativa.

A interpolação dos dados obtidos em sondagens mostra que a classe de espessura entre 0,4 e 1,4 m estende-se até 990 m da linha de costa. Por sua vez, a classe 0,1 - 0,4 m até 1120 m, a classe 0,01 - 0,1 m até 1070 m da linha de costa e, finalmente, a classe 0 - 0,01 m não mostra representatividade significativa neste local. Já em SG a geomorfologia lagunar, ampla e rasa, livre de vertentes confinantes, originou uma representação sedimentar ligeiramente menos extensa da zona inundada assim como uma menor espessura do depósito. Assim, a classe de espessura 0,4 - 0,84 m ocorre até 390 m da linha de costa, a classe 0,1 - 0,4 m até 640 m, a classe 0,01 - 0,1 m até 720 m e a classe 0 - 0,01m até 950 m da linha de costa. Há ainda evidência de aumento localizado da espessura do depósito a 790 m da linha de costa que pode indicar efeito da paleotopografia que terá proporcionado o súbito aumento da acumulação sedimentar nesta localização específica.

Conclusões

Comparando BDR e SG evidencia-se a influência da morfologia costeira na extensão da inundação tsunamigénica. As margens alcantiladas de BDR,

terão proporcionando passagem mais intensa e extensa de água que originaram depósitos mais espessos mas também maior expressão espacial da zona inundada.

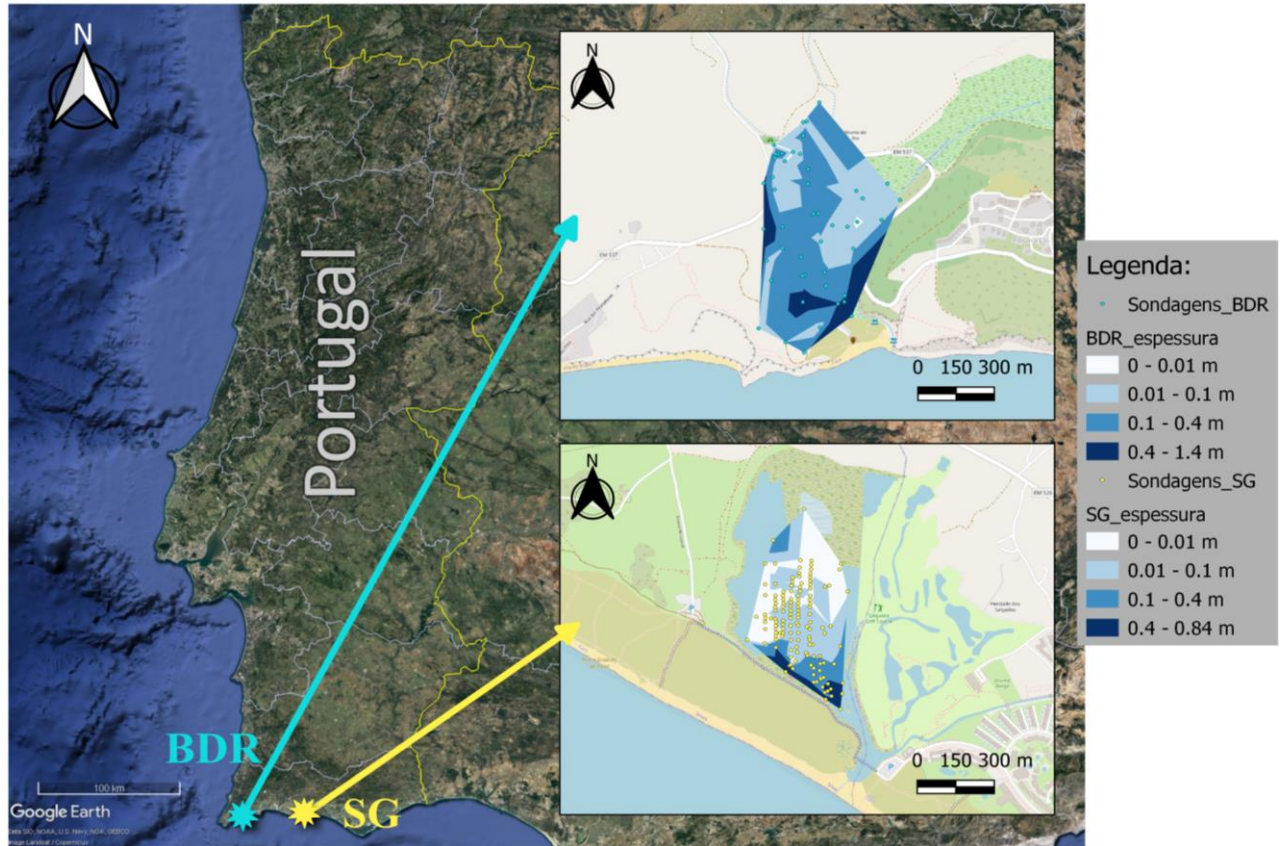


Fig. 1. Localização dos pontos de sondagem e resultados da modelação da variação espacial de espessura do depósito.

Tabela I. Parâmetros geomorfológicos e sedimentares associados ao depósito de tsunami e extensão da inundação reportada em documentos históricos. *Dados de Armação de Pêra. #Área calculada, incluindo campo de golfe dos Salgados.

LOCAL	GEOMORFOLOGIA	ESPAÇO DE ACOMODAÇÃO (ha)	ESPESSURA MÁXIMA DO DEPÓSITO DE TSUNAMI (cm)	COTA MÉDIA (NMM) (m)	DISTÂNCIA DA COSTA (m) (ESPESSURA MÁXIMA)	EXTENSÃO PARA TERRA (m)	EXTENSÃO DA INUNDAÇÃO (m)
BDR	Vale colmatado e encaixado	34.4	51	2.5	230	950	~2500
SG	Laguna	99.7#	49	1.2	310	800	~1500*

Agradecimentos: Financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) –UIDB/50019/2020. Os autores agradecem ao projeto OnOff (PTDC/CTAGEO/28941/2017).

High-resolution X-ray CT-scans on offshore tsunami deposits

Tomografia axial computadorizada de alta resolução em depósitos de tsunamis do registo offshore

P. Costa (1,2), L. Feist (3), K. Reicherter (3), R. Paris (4), S. Falvard (4), J.I. Santiesteban (5), RV Meteor M-152 scientific team

(1) Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal, ppcosta@dct.uc.pt

(2) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal

(3) Neotectonics and Natural Hazards Group, RWTH Aachen University, Germany

(4) Laboratoire Magmas et Volcans, CNRS, IRD, OPGC, University of Clermont-Auvergne, Clermont-Ferrand, France

(5) Department of Geodynamics, Stratigraphy and Paleontology, Complutense University of Madrid, Spain

Sumário: Neste trabalho são apresentados os primeiros resultados de análises utilizando tomografia axial computadorizada em depósitos de tsunami recolhidos na plataforma algarvia. Pretendeu-se ainda analisar, em detalhe, a variação composicional e de fabric dos depósitos, nomeadamente os níveis associados aos eventos de 1755 e outro com uma idade aproximada de 3600 anos BP. De forma, genérica, este trabalho demonstra o potencial de utilização desta ferramenta analítica para potenciar a interpretação sedimentológica, nomeadamente da dinâmica de transporte sedimentar durante eventos tsunamigénicos.

Palavras-chave: onda de retorno, sedimento, tsunami de 1775, transporte sedimentar

Key words: backwash, sediment, CE 1775 tsunami, sediment transport

X-ray Computed Tomography (X-ray CT) can be a powerful tool for sedimentology. It is a non-destructive imaging technique that allows the characterization of sediments and the identification of sedimentary structures. It allows identification of sediment facies and structures' direction or orientation in 3D. High-resolution X-ray CT-scans unequivocally contributes to raise the understanding of tsunami deposits and their 3D micromorphological imprint thus, establish their relationship with flow dynamics of both the inundation and backwash phases.

We present high-resolution X-ray CT-scans of offshore sediment cores from southwestern Algarve, southern Portugal. A multi-proxy approach was applied to study the sediment cores. Results demonstrated the presence of deposits of the 1755 CE Lisbon tsunami and of an older event dating to ca. 3600 years BP. X-ray CT-scans of the offshore tsunami deposits were performed in 50 μm and 20 μm per voxel resolution, and sub-sampled selected sections to achieve an even better resolution of up to 14 μm per voxel. After a

first visual inspection, the 1755 CE tsunami deposits consist of shell fragments and sand-sized grains mixed with the fine-grained background sediments. The ca. 3600 years BP tsunami deposits are much more complex (Fig. 1). The detailed CT-scans revealed peculiar characteristics of the different sub-units identified. The erosive base is followed upwards by shell fragments and inverse grading. On top of this, the deposit consists of well-sorted medium sand and another erosive surface. This is followed by shell fragments and sand-sized grains mixed with the fine-grained background sediments. The characteristics of this uppermost sub-unit and the 1755 CE tsunami deposit are similar. We used semi-automated image analyses to characterize the samples in 2D and 3D. The 2D analysis determined grain-size statistics and distributions. The 3D analysis revealed the properties of the sedimentary fabric which can be visualized in rose diagrams and density stereograms. Both techniques were also used to identify the distribution and orientation of bioclasts.

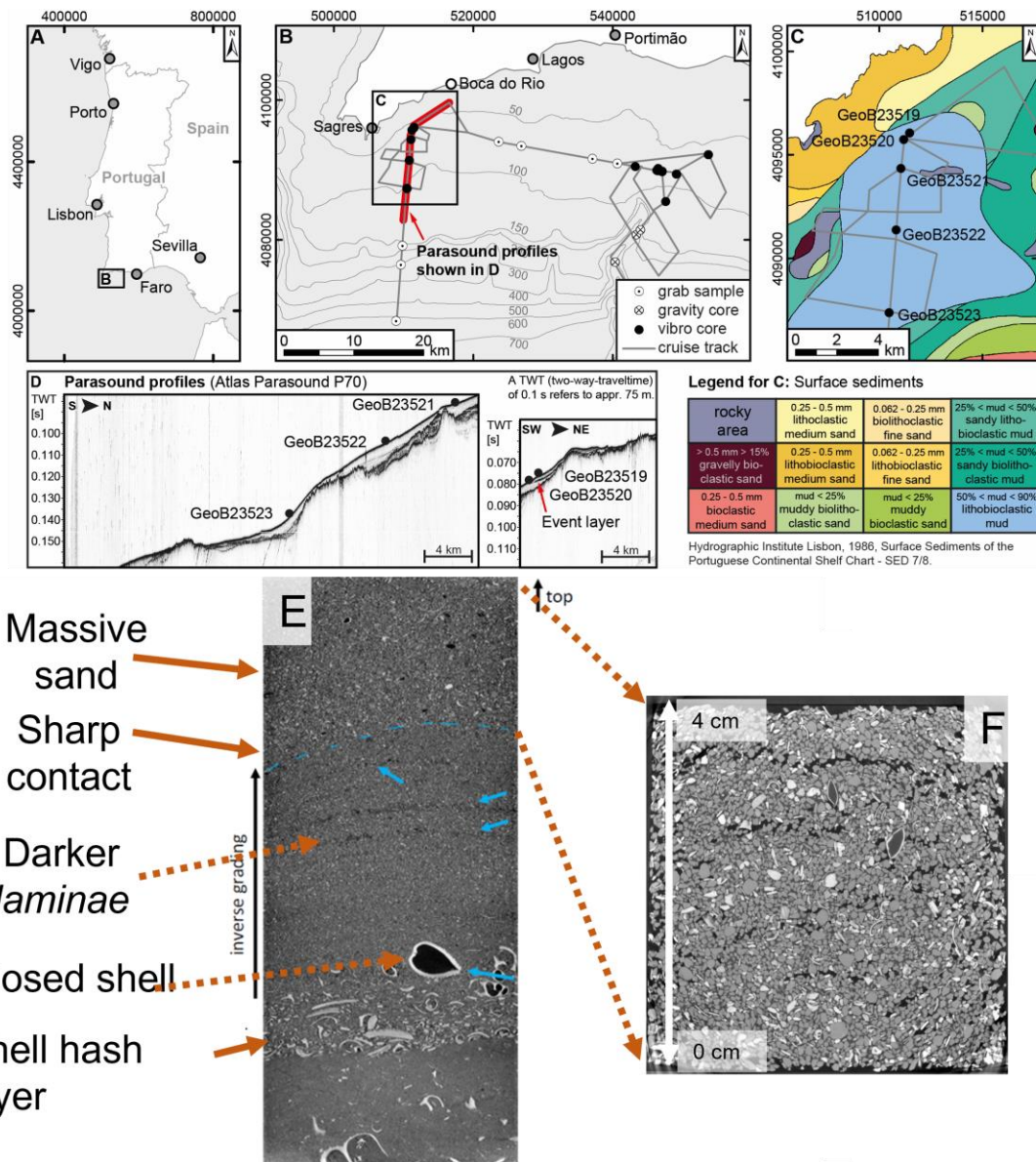


Fig. 1. Image A and B – location of the study area along the southern Portuguese coast. C – location of sediment cores retrieved along the western (N-S transect) profile overlapped on the surface sediment cover mapping from IH (2007). D – geophysical profile with the dark marker associated to the ca. 3700 cal yrs BP tsunami deposit. E- X-ray CT-scan image of the ca. 3600 cal yrs BP tsunami deposit. Detail of its internal architecture that reveals a complex sediment transport process. Sample retrieved from core GeoB823519-01-2 (from 1.445 to 1.55 cm below top of sediment core). Images obtained using a 20 m scan resolution on half core. F – detail of the massive medium sand layer that is the upper sub-unit of this tsunami deposit.

Acknowledgments: The authors acknowledge the support from Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES through national funds from (PIDDAC) – UIDB/50019/2020. The authors also acknowledge projects OnOff (PTDC/CTAGEO/28941/2017), NORSEAT (funded by BELSPO) and project RV Meteor-M152 funded by DFG.

Holocene offshore tsunami sedimentary signatures in the NE Atlantic

Assinaturas sedimentares de tsunamis no registo offshore do NE Atlântico

P. Costa (1,2), K. Reicherter (3), M. de Batist (4), RV Meteor M-152, RV Belgica 2021-13 and RV Belgica 2022-31 scientific teams

(1) Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal, ppcosta@dct.uc.pt

(2) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal

(3) Neotectonics and Natural Hazards Group, RWTH Aachen University, Germany

(4) Renard Centre of Marine Geology (RCMG), Ghent University, Belgium

Sumário: Neste trabalho são apresentados os primeiros resultados de três cruzeiros oceanográficos. Os cruzeiros pesquisaram áreas offshore da costa do Algarve (Portugal) e do arquipélago das Shetland (Escócia). O objetivo dos cruzeiros era identificar depósitos de tsunami, que estão bem documentados em terra mas pouco estudados no domínio offshore. Pretendeu-se ainda analisar, em detalhe, a extensão dos depósitos e as suas características sedimentológicas. Para além dos depósitos associados aos eventos de 1755 e de Storegga, foi ainda detetado na plataforma algarvia um novo depósito associado a um evento tsunamigénico e com idade aproxima de 3600 anos BP. De forma, genérica, este trabalho demonstra que o registo offshore de pouca profundidade, possivelmente, contém evidências de mais eventos tsunamigénicos, fornecendo assim uma nova perspetiva sobre intervalos de recorrência.

Palavras-chave: onda de retorno, sedimento, tsunami de 1775, tsunami de Storegga.

Key words: backwash, sediment, CE 1775 tsunami, Storegga tsunami

Evidence of past tsunamis is relatively rare in the North East Atlantic basin. This may reflect a real low recurrence rate of tsunami events or it may also be an observational bias, due to the nature of its coastlines, characterized either by limited accommodation space or by poor preservation of event deposits due to erosion or anthropogenic reworking. This might result in an underestimation of the tsunami hazard of the entire basin.

In contrast to onshore tsunami deposits, offshore tsunami deposits have received less attention, although they are much more likely to be preserved in the sedimentary record and to contain pristine tsunami depositional signatures, especially those deposited in sufficiently deep marine environments, well below the wave base of storms.

Here, we present the first results from three different research cruises. The cruises surveyed areas offshore the Algarve (Portugal) coast and the Shetland archipelago (Scotland). The aim of the cruises was to trace the tsunami deposits that are well documented onshore into the offshore realm, study their extent and characteristics in detail, and verify whether the offshore record possibly holds evidence of more events, providing new insights in recurrence intervals.

The RV Meteor M-152, the RV Belgica 2021-13 and the RV Belgica 2022-31 research cruises collected

geophysical data (multibeam bathymetry and backscatter, sub-bottom profiler) and sediment cores, from selected areas around the Algarve and the Shetlands Islands in depths varying from 30 m to 500 m deep.

Along the Algarve coast, cruises RV Meteor M-152 and RV Belgica 2021-13 conducted a geophysical survey on the corresponding shelf area to reveal bathymetry and sub-bottom profiles for the recognition of depositional basins (Fig. 1 and Fig. 2). Subsequently, 19 sediment cores were retrieved from the most suitable depositional basins by vibracoring in varying water depths from 65 to 114 m. The cores were analysed in a multiproxy approach (granulometry, magnetic susceptibility, P-wave velocities, organic and inorganic geochemistry, micropalaeontology). Deposits of the AD 1755 Lisbon tsunami were identified in most of the cores as a thin layer at ca. 20 cm depth.

More surprisingly, a second event deposit dating to 3600 years cal. BP was detected at core depths of ca. 120 to 150 cm. It is even traceable in the sub-bottom profiles and consists of a distinctive 25 cm thick well sorted medium-sized siliciclastic sand. Terrestrial provenance for (at least parts of) the sediment is revealed by biomarker analysis. Based on these characteristics, the deposit is interpreted as the result of a hyperpycnal flow from the coast towards the offshore caused by tsunami

backwash. Similarly, the Storegga tsunami geophysical signature, obtained during cruise RV Belgica 2022-31, was evident along three fjords in the island of Yell (Shetland). Its geophysical imprint bares many similarities with the signatures observed along the along the Algarve platform. This deposit also presents a peculiar (coarse and diverse mineral and palaeontological assemblages) and is contrasting in the

Holocene stratigraphy of the region. Its association as a major event was also facilitated by its erosional basal contact and decreasing thickness offshore. The results of this multiproxy analysis strongly suggest the shallow offshore area below storm wave base to host reliable sedimentary archives for tsunami backwash deposits.

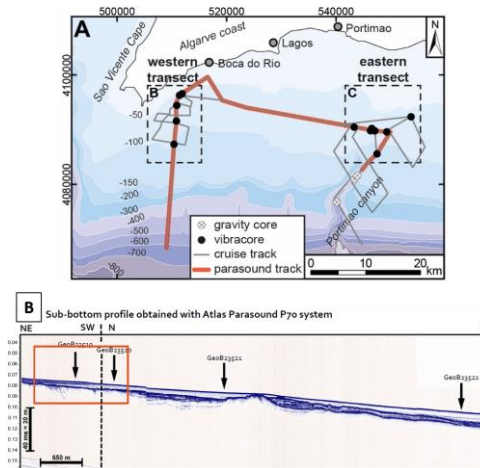


Fig. 1. Image A – displays the geophysical data acquisition track and the coring locations surveyed offshore the Algarve coast. Figure B – displays the sub-bottom profile from the shallowest sector of the western profile (N-S transect).

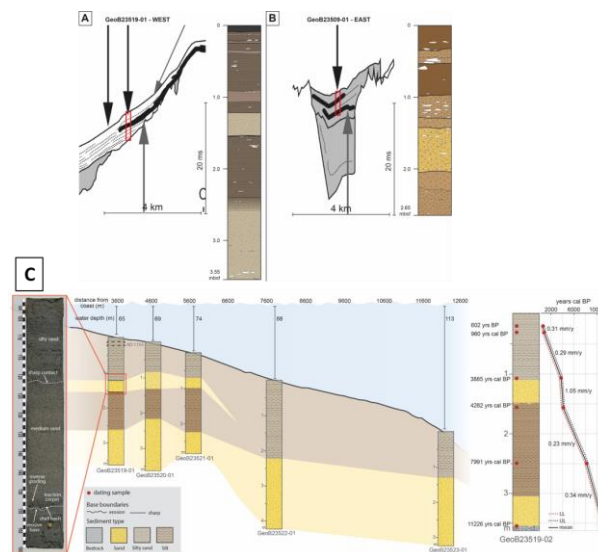


Fig. 2. Images A and B display a correlation between sediment cores and geophysical data from two areas surveyed along the south coast of Portugal (specific locations of cores can be observed on figure 1). Image C exhibits the lithostratigraphic correlation and age-estimation model of the samples on the western (N-S transect) profile surveyed along the Algarve coast.

Acknowledgments: The authors acknowledge the support from Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES through national funds from (PIDDAC) –UIDB/50019/2020. The authors also acknowledge projects OnOff (PTDC/CTAGEO/28941/2017), NORSEAT (funded by BELSPO) and project RV Meteor-M152 funded by DFG.

Chemical composition of submarine massive sulphides in the Lucky Strike hydrothermal field

Características geoquímicas dos sulfuretos maciços submarinos do campo hidrotermal do Lucky Strike

P. Ferreira (1), C. Inverno (1), T. Pena (1), H. Schiellerup (2) and J. González (3)

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), pedro.ferreira@lneg.pt

(2) Geological Survey of Norway (NGU)

(3) Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

Sumário: No segmento Lucky Strike, localizado na Crista Média da região dos Açores, existe um dos maiores campos submarinos hidrotermais activos do nosso planeta. Para além da existência de dezenas de chaminés hidrotermais expelindo fluidos a elevadas temperaturas (~325 °C), uma área significativa com cerca de 1 km² é constituída por um substrato rochoso formado por placas hidrotermais e sulfuretos maciços polimetálicos. Durante a campanha oceanográfica TTR-10, oito locais desta área foram amostrados resultando um conjunto de rochas que foram incluídos em três grupos: 1) fragmentos de chaminés hidrotermais, com a estrutura original preservada; 2) fragmentos irregulares de sulfuretos maciços sem estruturação (“sulphide rubble”); 3) Fragmentos de rochas basálticas com variáveis graus de alteração hidrotermal. Neste trabalho apresentam-se as principais características químicas (elementos maiores e traço) e mineralógicas destes três tipos de rochas.

Palavras-chave: Crista Média Atlântica, elementos maiores e traço, mineralogia principal, tipos de sulfuretos maciços

Key words: Mid-Atlantic Ridge, major and trace elements, main mineralogy, massive sulphide types

1. Main features of Lucky Strike hydrothermal field

The Lucky Strike Hydrothermal Field is located approximately 400 km south of the Azores on the Lucky Strike segment of the Mid-Atlantic Ridge (MAR), which is located between 37°00' and 37°35'N. Active and inactive hydrothermal deposits are distributed over a wide area of about 1 km² at shallow depths (1630-1730 m), and about 30 vent sites have been identified. Numerous inward-dipping normal faults cut the area and could serve as outflow conduits for fluids (Ondreas *et al.* 2009). Hydrothermal venting is located on extensive deposits of sulphide rubble and hydrothermally cemented hyaloclastite deposits both east and west of a central lava lake (e.g. Humphris *et al.* 2002; Ondreas *et al.* 2009). Hydrothermal discharge occurs as high temperature black smokers, which can reach temperatures of around 325°C.

The hydrothermal deposits consist of a series of sulphide mounds with numerous inactive chimneys that cover large areas of the summit of the Lucky Strike volcano. These deposits include iron- and copper-rich massive sulphides and a typical hydrothermal slab structure (hydrothermally cemented breccia) which forms flat and layered deposits. The mounds can be up to 20 m in diameter and rise several meters above the surrounding seafloor (Barreyre *et al.* 2012). The

most vigorous high-temperature venting chimneys are dominated by chalcopyrite and anhydrite, with minor iron and zinc sulphide minerals, as well as amorphous silica (e.g. Langmuir *et al.* 1997). The spatial distribution and inferred volume of the sulphide rubble suggest that hydrothermal activity has occurred over a long period of time, and that active tectonism, which has clearly influenced the structural development of the central topographic high as it grew, has resulted in a relatively continuous disaggregation of sulphide structures and mass-wasting of the hydrothermal debris.

2. Chemical and mineralogical data for Lucky Strike hydrothermal materials

During the TTR-10 cruise, thirty-five different areas of the Lucky Strike field were sampled using a tv-grab, but only eight sampling stations provided hydrothermal rocks, which were included in three distinct groups: 1) black smoker chimney fragments, with original shape preserved; 2) sulphide rubble fragments; 3) rocks having variable hydrothermal alteration degree.

The chimneys fragments include two different subtypes: a) Cu-rich chimneys and b) Ba-Zn chimneys. The first subtype has a typical mineralogical zonation with chalcopyrite at the inner and at the bottom of the structures and anhydrite at the outer part. They

are very enriched in Cu (20.1-27.4 wt%) and Fe (36.3-52.7 wt%), which are the two most important metallic major elements in these chimneys. The Zn concentrations are below 0.1%. The rare elements, which are critical for high-tech industry and could be enriched in some submarine massive sulphides, are present in very low concentrations (Table 1). These black smoker chimneys are essentially conduits for the escape of high-temperature end-members hydrothermal fluids. The rock fragments collected have a concentric zonation reflecting the sequence of mineral precipitation – an early assemblage of chalcopyrite, pyrrhotite and/or isocubanite (only trace amounts for these two minerals) and anhydrite at high temperatures, followed by pyrite, marcasite and sphalerite at lower temperatures. The chalcopyrite-lined orifices and the outer anhydrite-rich wall constitute characteristic features that distinguish many black smoker vents from other chimney structures.

The Ba-Zn chimneys are primarily composed of variable amounts of barite, very enriched in sphalerite and small amounts of pyrite, marcasite and chalcopyrite (amorphous silica may occur in variable amounts). This mineralogy is expressed, compositionally, in very high concentrations of Zn (20.0-41.4 wt%) and Ba (11.9-28.0 wt%) but lower Fe (2.1-6.1 Wt%) and Cu concentrations (0.1-4.7 wt%). Silica values range from 3,5 to 11.6 wt% (comparatively, Cu-rich chimneys show SiO₂ < 0.62 wt%). In terms of trace element composition, both types of chimneys are indistinguishable, with a slightly increase in Pb and Sb contents in the Ba-Zn chimney types. These chimneys are considered to expel fluids having lower temperatures than the Cu-rich chimneys. They are quite porous and are contain several channels of different diameters. They have complex shapes that could reflect a change in the growth from multiple vent orifices at the base, to a narrower vent at the top. These structures rarely have a central, dominating fluid conduit, and the diffuse flow of fluid through the chimneys is usually via a porous network of interconnecting channels.

The massive sulphide rubble forms a group of old chimney fragments (without any preserved structure) and, possibly, derived from deposits exposed and later eroded by tectonic movements, which are very frequent in this type of tectonic environment. The sub-types of sulphide rubble were considered based on the relative amounts of Cu, Zn and Fe (Table 1). The Cu-rich rubble stands out for presenting higher concentrations in some of the elements critical for high-tech industry, including Pb, Mo, Ge, Sb and Tl. The rubble samples are essentially made of pyrite and chalcopyrite, but sphalerite is also present (in the Cu+Zn rich types). Barite occurs frequently as transparent euhedral crystals in vacuoles closely associated with sphalerite and is present in variable amounts, reflecting the great Ba contents variation observed among the three types of rubble. In the third type of hydrothermal rocks considered here, only the slabs were analysed. They are predominantly siliceous (~48 wt%), and having only three other elements with concentrations higher than 1%: Al (~ 4 wt%), Fe (27.2 wt%) and S (20.7 wt%). This type of slab represents the hydrothermal rock with the highest degree of silicification, having pyrite as the main metallic mineral disseminated in the matrix (traces of chalcopyrite were also identified).

Tab. 1. Types and chemical compositions of Lucky Strike submarine massive sulphides and hydrothermal slabs.

	Chymneys		Sulphide Rubble			Slab
	Cu-rich	Zn-rich	Cu rich	Cu+Zn rich	Fe rich	
(%)						
Cu (%)	20.1-27.4	0.1-4.7	0.42-0.97	4.0-9.6	0.01-0.20	0.22
Zn (%)	0.04-0.09	20.0-41.4	0.03-0.67	6.1-6.7	0.03-0.08	0.01
Fe (%)	25.4-36.9	1.5-4.3	26.8-43.1	24.1-28.6	40.1-42.2	19
(ppm)						
Ag	1.5-16.7	0.6-5.4	1.1-8.7	<0.5	<0.5	<0.5
Ba	108-3873	11.9-28.0*	24-18120	172-6980	121-24190	412
Bi	<0.1	<0.1	0.1-1.2	<0.1	<0.1	0.5
Co	68-135	37-55	17-319	127-132	74-86	147
Ga	36-71	15-82	2-88	<1	<1	6
Ge	59-87	33-78	1-87	15-22	1	3
In	10.6-20.4	1.8-20.3	0.2-21.3	<0.1-0.2	<0.1-0.2	0.2
Mo	9-73	35-82	10-65	>100	24-80	14
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	30
Pb	36-71	53-206	5-436	390-421	36-45	7
Sb	7-39	54-144	1-37	17-34	0.6-2.3	0.7
Sc	2-3	<1	2-3	<1	<1	10
Tl	<0.05	<0.05	0.1-1.0	0.15-10.6	<0.05-0.2	0.34
V	23-59	7-21	18-48	118-126	<5-27	71
REY(T)	0.1-0.7	3.8-6.1	0.1-35.6	<0.4	<2.3	24.5
* values in wt%						

References

- Barreyre, T. et al. (2012). Structure, temporal evolution, and heat flux estimates from the Lucky Strike deep-sea hydrothermal field derived from seafloor image mosaics. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 13(4).
- Humphris, S.E. et al. (2002). Geotectonic setting of hydrothermal activity on the summit of Lucky Strike Seamount (37°17'N, Mid-Atlantic Ridge). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 3(8), 1–25.
- Ondréas, H. et al. (2009). Recent volcanic events and the distribution of hydrothermal venting at the Lucky Strike hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 10(2).
- Langmuir, C. et al. (1997). Hydrothermal vents near a mantle hot spot: The Lucky Strike vent field at 37°N on the Mid-Atlantic Ridge. *Earth and Planetary Science Letters* 148, 69–91

Insights into flank collapses along the Gorringe-Hirondelle-Josephine seamount chain on the Southwest Iberian Margin

Percepções sobre colapsos de flanco ao longo da cadeia de montes submarinos Gorringe-Hirondelle-Josephine na Margem Sudoeste Ibérica

D. Gamboa (1,2), R. Omira (1,2), M. Neres (1,2), I. Ramalho (1,2), J. Noiva (1,2), P. Brito (1,2) and P. Terrinha (1,2)

Email autor: davide.gamboa@ipma.pt

(1) Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), I.P., Lisboa, Portugal

(2) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

Sumário: Os montes submarinos distribuídos pela Margem Sudoeste Ibérica carecem de estudo aprofundado. Dada a complexidade tectónica desta margem, os montes submarinos nela existentes são propícios a instabilidade e colapso nos seus flancos. Recorrendo a dados de batimetria e de sísmica de reflexão, este estudo foca-se na caracterização de deslizamentos submarinos ao longo da cadeia de montes submarinos Gorringe-Hirondelle-Josephine. Apesar de numerosos, os colapsos de flancos registados em dados modernos do fundo marinho são de reduzida dimensão quando comparados com grandes depósitos de deslizamentos identificados na subsuperfície. Estes podem estender-se nas planícies abissais por dezenas de quilómetros, um aspeto não captado na morfologia recente. Eventos sísmicos são considerados como o mecanismo principal de colapso nos flancos de relevos submarinos, especialmente para os deslizamentos de maior dimensão. É crucial discernir quais os processos geológicos relacionados a montes submarinos não só para compreender os riscos geológicos e tsunamigénese a eles associados, mas também perceber a sua importância nos recursos marinhos do futuro, um aspeto especialmente relevante no âmbito da expansão da ZEE Portuguesa.

Palavras-chave: riscos geológicos, deslizamentos submarinos, montes submarinos

Key words: geohazards, submarine landslides, seamounts

Seamounts are spectacular bathymetric features, yet only less than 1% are studied in detail (Staudigel and Clague, 2010). Seamount chains are prevalent on the Southwest Iberian Margin (SWIM), in cases completely encircling the deep abyssal plains. Given the tectonic complexity of the SWIM and associated seismicity (Zitellini et al., 2009), existing seamounts are prone to instability and mass-wasting on their flanks (Gamboa et al., 2021).

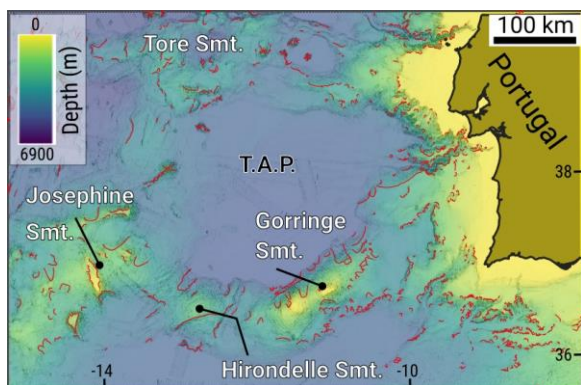


Fig. 1. Location of the studied seamounts on the SWIM. Red lines represent landslide scars. T.A.P. – Tagus Abyssal Plain.

Knowledge the western of the seamount chains in the Portuguese offshore domains is still sparse. Yet, seamount flank collapses are common and of variable sizes (Gamboa et al., 2022). We present aspects of mass-wasting events along the Gorringe-Hirondelle-Josephine seamount chain aiming to characterise their style and related hazards.

Various collapses exist on the active thrust flank of the Gorringe Seamount. The most prominent one identifiable on the modern seafloor presents a blocky debris avalanche with a well-pronounced scar (Gamboa et al., 2021). Buried seismic-scale landslides were identified, the larger ones reaching over 30 km in length. Of relevance is the extent of ancient slope collapses towards the Tagus Abyssal Plain, namely ones associated with estimated Miocene phases of increased tectonism on the margin, an aspect not captured on modern bathymetric features. The MTD distribution further suggests that Pliocene-Quaternary instability triggers (likely to be seismicity) focused on the northern sections of the tectonic Gorringe Seamount (Gamboa et al., 2021).

The morphology of the Hirondele Seamount exhibits a large mass-movement with an extent of circa 20 km and an estimated total thickness of 1960 m (Omira et al., 2016). The South Hirondele MTD resulted from a large collapse of the seamount's flank that did not propagate into the adjacent abyssal plain, with movement being hindered by a seaward structure. Seismicity was the likely trigger for the South Hirondele collapse, although aseismic triggers related to continuous stress build-up on the sedimentary sequences could be considered. Other buried MTDs derived from the southwestern areas of the Hirondele seamount extend into the Horseshoe Abyssal Plain. Observed sections can reach extents up to 10 km and thickness up to 50 ms twt, but their true size is not known.

Various slope collapses exist on the broad area of the Josephine Seamount. Marked scarps of different size are observed on the seafloor, the tallest with a height drop of about 2600 m. A seismic profile crossing the width of this large scar reveals aspects of collapsed tilted flank blocks and near-source deposits. Several other MTDs have been observed, but their correlation across different profiles has not been attempted and may be likely not possible due to data scarcity. Overall, they seem longer run-out events

akin to features observed on the flank of the Gorrige rather than the slump-like South Hirondele MTD. With the exception of a feature about 130 ms twt thick, most Josephine MTDs do not exceed 50 to 60 ms twt. Stacked MTDs are more frequent towards the southwest of the seamount, indicating a proneness of recurrent instability at such locations.

Despite advances on the characterisation of geohazards related to offshore seamounts, large knowledge gaps still exist. It is thus crucial to improve our understanding of geohazards on the western extents of the seamount domains. One key aspect is the tsunamigenic potential of large flank collapses as confirmed for the South Hirondele MTD (Omira et al., 2016). Risk to deep marine infrastructure is another key aspect to consider, particularly at a time where submarine cable network installations are rising. Further to the geohazard perspectives, seamounts are important habitat hotspots and potential targets for deep sea mineral exploration, pressing topics on future marine research agendas and no less important to the expanding Portuguese EEZ.

Acknowledgements: This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through project MAGICLAND - MARine Geo-hazards Induced by underwater LANDslides in the SW Iberian Margin (Ref: PTDC/CTA-GEO/30381/2017), national funds (PIDDAC) – UIDB/50019/2020- IDL, and project LISA (PTDC/CTA-GEF/1666/2020). The Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) is acknowledged for the provision of seismic data. The Marine Geology and Geophysics Laboratory (SEISLAB) of Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), where the interpretation work was partly developed, is acknowledged.

References

- Gamboa, D., Omira, R., Piedade, A., Terrinha, P., Roque, C. & Zitellini, N. (2021). Destructive episodes and morphological rejuvenation during the lifecycles of tectonically active seamounts: Insights from the Gorrige Bank in the NE Atlantic. *Earth and Planetary Science Letters*, 559, 116772.
- Gamboa, D., Omira, R. & Terrinha, P. (2022). Spatial and morphometric relationships of submarine landslides offshore west and southwest Iberia. *Landslides*, 19(2), 387-405.
- Omira, R., Ramalho, I., Terrinha, P., Baptista, M. A., Batista, L. & Zitellini, N. (2016). Deep-water seamounts, a potential source of tsunami generated by landslides? The Hirondele Seamount, NE Atlantic. *Marine Geology*, 379, 267-280.
- Staudigel, H. & Clague, D.A. (2010). The geological history of deep-sea volcanoes: Biosphere, hydrosphere, and lithosphere interactions. *Oceanography*, 23, 58-71.
- Zitellini, N., Gràcia, E., Matias, L., Terrinha, P., Abreu, M., DeAlteriis, G., Henriët, J., Dañobeitia, J., Masson, D. & Mulder, T. (2009). The quest for the Africa–Eurasia plate boundary west of the Strait of Gibraltar. *Earth and Planetary Science Letters*, 280, 13-50.

Submarine mass-movements offshore Portugal in the scope of the new EuroMediterranean Submarine landslide (EMSS) database

Deslizamentos submarinos no *offshore* de Portugal no âmbito da nova base de dados EuroMediterranean Submarine landslide (EMSS)

D. Gamboa (1,2), R. Omira (1,2), P. Terrinha (1,2) and R. Urgeles (3)

Email autor: davide.gamboa@ipma.pt

(1) Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), I.P., Lisboa, Portugal

(2) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

(3) Institute of Marine Sciences (CSIC), Barcelona, Spain

Sumário: Deslizamentos submarinos constituem um risco geológico em todas as margens continentais. A cartografia de deslizamentos submarinos no fundo do mar e dados de subsuperfície baseia-se na identificação de escarpas, zona de evacuação, e depósitos de material remobilizado e deformado. Dado o largo espectro dimensional observado para deslizamentos submarinos, têm sido mobilizados esforços para a compilação de dados com registos exaustivos dos seus parâmetros morfométricos. Exemplo disso é base de dados MAGICLAND, que inclui a morfometria e características de mais de 1500 deslizamentos no domínio offshore da margem oeste e sudoeste Ibérica. Os resultados indicam que a maior densidade de deslizamentos está associada a zonas de epicentros de sismos, flancos de canhões submarinos, e cadeias dos grandes montes submarinos. A base de dados MAGICLAND integra a base de dados Euro-Mediterrânica de deslizamentos submarinos (EMSS) sob a alçada do projeto Europeu Geo-INQUIRE, que tem como objetivo principal integrar compilações existentes bem como contribuições futuras de investigadores interessados na iniciativa.

Palavras-chave: riscos geológicos, deslizamentos submarinos, bases de dados, margens continentais Europeias

Key words: geohazards, submarine landslides, landslide databases, European continental margins

Submarine mass movements are common occurrences on marine domains, from the shallow coasts to the deepest areas of the oceans. Massive landslides tend to draw attention for detailed study. However, hundreds or thousands of smaller collapses occur along the continental margins and other submarine structures (Chaytor *et al.*, 2009). Improvements in the coverage and resolution of marine geophysical data, as well as its compilation in multi-source bathymetric datasets, allows improved detail in the morphometric characterisation of submarine slope failures and their distribution.

Database compilations of submarine landslides have increased in number in the last decade (see Gamboa *et al.*, 2022 and references therein). Such effort was undertaken for the offshore of the west and southwest Iberian margin under the MAGICLAND project, leading to a compilation of data from 1552 submarine landslide occurrences (Gamboa *et al.*, 2021). Results show that higher densities of submarine landslides occur in the southwestern

margin, in regions coincident with numerous earthquake clusters. Submarine canyons also record numerous closely spaced collapse scars. Nevertheless, landslides were recorded in all relevant bathymetric features away from the slope, with relevance for the large seamount chains.

Morphometric attributes were compiled for each landslide component (i.e., scar, source, and deposit), including information on their length, width, area, volume, depth, slope or height. These parameters were used to test predictive scale relationships between different attribute pairings. In general, power-law relationships between landslide area and volume showed higher correlations when compared to length-width pairings. This indicates that relationships between multidimensional parameters are better suited for morphometric predictive estimations. In contrast, unidimensional parameters (e.g., length) are not fully representative of the full spatial variability of the features. Despite the correlation variability observed, the distal domains,

where the larger landslides occur, consistently show the highest correlation values. In contrast, the domain within the Gulf of Cadiz presented the lower parameter correlations, indicating that submarine settings with higher geodynamic complexity can lead to greater variability of landslide morphology.

The compilation of submarine landslide databases and catalogues aims to provide a better understanding of the mass-wasting processes and related geohazards (Clare *et al.*, 2019, Urgeles *et al.*, 2023). While the tsunami generation potential is a major risk related to larger landslides, the smaller, numerous occurrences cannot be overlooked given the growing number of deepwater infrastructures.

A new Euro-Mediterranean Submarine landslide (EMSS) database is being compiled within the frame of the EU funded project Geo-INQUIRE. Based on a

current EMSS version including submarine landslides of the Mediterranean Sea, the European continental margins (and adjacent areas) of the Atlantic and Arctic Oceans and Macaronesia (Urgeles *et al.*, 2021), ongoing work integrated the MAGICLAND database for features offshore Portugal as well as other similar compilations undergoing for the Spanish ZEE and other European margins.

The current EMSS work has the potential to be the seed for the (challenging) world ocean submarine landslide database. In this regard, we encourage the offshore geohazards community to contribute to enlarge the database. Shapefile templates will be made available to researchers interested in the initiative.

Acknowledgements: This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through project MAGICLAND - MARine Geo-hazards Induced by underwater LANDslides in the SW Iberian Margin (Ref: PTDC/CTA-GEO/30381/2017) and national funds (PIDDAC) – UIDB/50019/2020- IDL. The authors further thank the support by European Union's Horizon Europe Research and Innovation Program under grant agreement No 101058518 (Geo-INQUIRE).

References

- Chaytor, J.D., ten Brink, U.S., Solow, A.R. & Andrews, B.D. (2009). Size distribution of submarine landslides along the U.S. Atlantic margin. *Marine Geology*, 264, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.08.007>.
- Clare, M., Chaytor, J., Dabson, O., Gamboa, D., Georgiopoulou, A., Eady, H., Hunt, J., Jackson, C., Katz, O., Krastel, S., Léon, R., Micallef, A., Moernaut, J., Moriconi, R., Moscardelli, L., Mueller, C., Normandeau, A., Patacci, M., Steventon, M., Urlaub, M., Volker, D., Wood, L., & Jobe, Z. (2019). A consistent global approach for the morphometric characterization of subaqueous landslides. *In*: Lintern, D.G., Mosher, D., Moscardelli, L., Bobrowsky, P.T., Campbell, C., Chaytor, J.D., Clague, J.J., Georgiopoulou, A., Lajeunesse, P., Normandeau, A., Piper, D.J.W., Scherwath, M., Stacey, C. & Turmel, D. (eds.). *Subaqueous Mass Movements and Their Consequences: Assessing Geohazards, Environmental Implications and Economic Significance of Subaqueous Landslides*. Geological Society, London, Special Publications 477, 455–477.
- Gamboa D, Omira R, Terrinha P (2021). A database of submarine landslides offshore West and Southwest Iberia. *Scientific Data*, 8, 185. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00969-w>
- Gamboa, D., Omira, R., & Terrinha, P. (2022). Spatial and morphometric relationships of submarine landslides offshore west and southwest Iberia. *Landslides*, 19(2), 387–405.
- Urgeles, R., Camerlenghi, A., Ruther, D.C., Fantoni, L., Brückner, N.W., De Pro-Díaz, Y. (2021). Euro-Mediterranean submarine landslide database (EMSS21): online data. Institut de Ciències del Mar (CSIC); <http://dx.doi.org/10.20350/digitalCSIC/13970/>
- Urgeles, R., Gamboa, D., Léon, R., Løvholt, F., Vanneste, M., Cattaneo, A., Vila, C. (2023). The EuroMediterranean Submarine landslide database: towards offshore geohazard quantitative assessment from submarine landslides and derived tsunamis. EGU General Assembly, Vienna, 23-28 April 2023.

Modelação numérica do tsunami de 1755 em duas zonas costeiras do Algarve

Numerical modeling of the 1755 tsunami in two coastal zones of the Algarve

R. Henriques (1), I. Bosnic (2), P. Costa (1,2), B. Rodrigues (1), S. Teixeira (3) e C. Andrade (2,4)

(1) Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal
ricardofilipesimo16@gmail.com

(2) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal

(3) Agência Portuguesa do Ambiente, Faro, Portugal sebastiao.teixeira@apambiente.pt

(4) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal

Summary: Numerical modelling is applied to better understand coastal overtopping caused by the 1755 tsunami in two coastal areas of the Algarve (Martinh​al and Verde Lago). Preliminary results suggest the Horseshoe Fault has the source causing the highest inundation in these two locations. In this work it was possible to simulate the flooding associated with the 1755 tsunami based on 4 seismic sources.

Key words: extreme events, sediment transport, storm, Delft3D, tsunami

Palavras-chave: eventos extremos, transporte de sedimentos, tempestade, Delft3D, tsunami

1. Introdução

Tsunamis e tempestades impactam fortemente na dinâmica costeira a nível global. Neste trabalho procura-se, através da modelação numérica e da sua validação com dados sedimentológicos, simular os impactos e inferir dados quantitativos sobre os galgamentos que ocorrem na zona de Martinh​al e Praia Verde (Algarve) (Fig. 1 e 2).

2. Enquadramento da área de estudo

Um dos locais de estudo é o Martinh​al (zona oeste da costa sul portuguesa) onde depósitos de tsunami e tempestade foram descritos anteriormente (e.g. Kortekaas and Dawson, 2007). O outro local é o terreno do empreendimento Verde Lago (Fig. 1), a Leste de Altura. Neste local, encontra-se a ser estudado um potencial depósito de tsunami tardi-holocénico através de análise sedimentológica e estabelecimento de marcadores cronológicos.

O Martinh​al é uma depressão estuarina-lagunar muito assoreada encaixada em calcários do Jurássico. No Martinh​al, a sequência litoestratigráfica é essencialmente lodosa, de baixa energia, mas é interrompida pela unidade arenosa associada ao tsunami de 1755 (Kortekaas et al., 2007) e múltiplas lâminas arenosas depositadas por galgamentos posteriores ao evento de 1755 intercaladas em sedimentos lodosos.

Por sua vez, Verde Lago é uma depressão a Este de Altura, onde afloram sedimentos Plio-Plistocénicos pontuando uma baixa aluvial colmatada separada do mar por um sistema praia-duna. A estratigrafia esquemática observada em Verde Lago traduz alternância de ambientes deposicionais mais calmos

estuarino-lagunares (sedimentação lodosa), episódio de energia mais elevada, correspondentes a galgamentos marinhos ou transporte eólico (níveis arenosos).

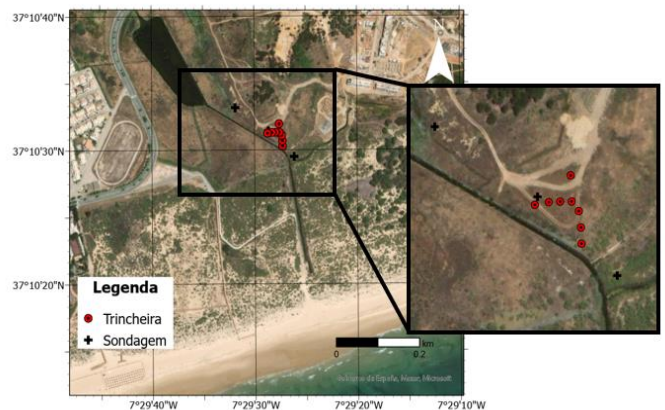


Fig. 1. Localização das trincheiras realizadas em Verde Lago.

3. Metodologia

Na zona de Verde Lago foram realizadas 8 trincheiras e 3 sondagens (Fig. 1) enquanto que no Martinh​al foram realizadas 4 trincheiras (Fig. 2) para caracterizar o enchimento sedimentar, colher amostras e detetar assinaturas de potenciais eventos de inundaç​ao marinha de alta energia.

Tendo por base os dados de campo procurou-se validar modelos numéricos hidromorfodinâmicos de inundaç​ao para terra e velocidade de transporte sedimentar. A propagaç​ao do tsunami de 1755, em termos de extens​ao da inundaç​ao e velocidade foram modelados para terra utilizando o m​odulo FLOW do software Delft3D, que resolve as equaç​oes n​ao lineares para águas rasas utilizando um esquema de

diferenças finitas. Foram construídas para cada caso de estudo três grelhas aninhadas com resoluções espaciais de 232 m (Nível 0), 100 m (Nível 1), 50, 25 e 5 m (Nível 2, resolução variável na mesma grelha) (Dourado et al., 2021). Foram usados dados topobatimétricos obtidos a partir do levantamento aerofotogramétrico 2008 DGT 2 m, Lidar DGT 2011 2 m e ainda Emodnet Bathymetry Consortium 115 m. Para a utilização da topobatimetria atual foi necessário a remoção do pontão localizado a oeste da Baía do Martinhal. Foram ainda adicionadas algumas estações virtuais em terra, nos fundos próximos e plataforma continental para monitorizar a velocidade, propagação e altura do tsunami. Como mecanismo geracional foram consideradas três áreas fonte: Falha de Ferradura (HSF), Banco de Gorringe (GB), e Falha do Marquês do Pombal (MPF). Os parâmetros para estas fontes foram derivados de estudos anteriores validados pelos tempos de chegada de tsunamis históricos (e.g., Dourado et al., 2021). Foi ainda considerada uma fonte hipotética, Cenário 1 (SCN1), que é um rearranjo da fonte do terremoto de Lisboa de 1969 através da combinação das fontes GB e HSF.

4. Resultados e Discussão

Os resultados preliminares obtidos a partir da modelação da zona de Martinhal mostram que das 4 fontes utilizadas a Falha de Ferradura gerou a maior extensão de inundação, cerca de 980 m para terra a partir da linha de costa. As restantes fontes produziram distâncias menores: 700 m (GB), 500 m (MPF) e 660 m (SCN). Por sua vez, a fonte HSF gera maiores velocidades de inundação (4 m/s) observadas na estação virtual localizada sobre a trincheira T1 (Fig. 2). É possível concluir também que em todas as fontes utilizadas a velocidade de inundação foi superior à velocidade de *backwash* (0,4 m/s observado na fonte GB) e que HSF é a fonte com maior potencial de galgamento, em claro contraste com MPF. O trabalho de modelação em curso em Verde Lago e a sua comparação com o Martinhal permitirá uma reflexão sustentada sobre os impactos e os comportamentos hidromorfoodinâmicos do tsunami de 1755 na costa sul portuguesa.

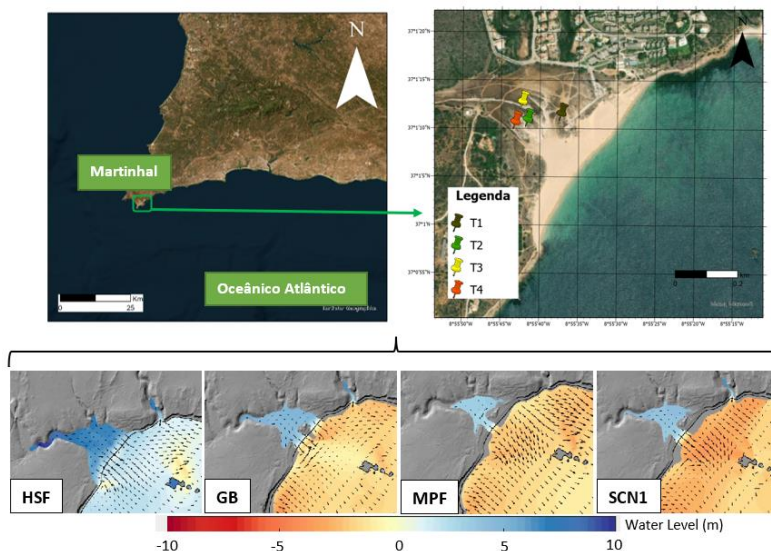


Fig. 2. Localização das trincheiras realizadas no Martinhal (zona oeste da costa sul portuguesa), com os respetivos resultados obtidos através da modelação usando o software Delft3D no modo FLOW e tendo por base as 4 fontes.

Agradecimentos: Um especial agradecimento à equipa de responsáveis pela obra na urbanização Verde Lago, pelas indicações e pela cedência de uma retroescavadora. Os autores agradecem ainda o financiamento por parte da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) –UIDB/50019/2020.

Referências

- Dourado, F., Costa, P. J. M., La Selle, S., Andrade, C., Silva, A. N., Bosnic, I., & Gelfenbaum, G. (2021). *Can modeling the geologic record contribute to constraining the tectonic source of the 1755 CE Great Lisbon earthquake?*. Earth and Space Science, 8, e2020EA001109.
- Kortekaas, S., & Dawson, A. G. (2007). *Distinguishing tsunami and storm deposits: an example from Martinhal, SW Portugal*. Sedimentary Geology, 200(3-4), 208-22

Novas ocorrências da província alcalina do Cretácico Superior e da Província Magmática do Atlântico Central (Jurássico basal) na Margem Oeste Portuguesa com base em levantamentos magnéticos e outros dados geofísicos marinhos

New sources of the West Iberia Late Cretaceous Alkaline Province (WILCAP) and Central Atlantic Magmatic Province (CAMP, base Jurassic) off West Portugal from high-resolution magnetic surveys on the continental shelf

M. Neres (1,2), P. Terrinha (1,2), J. Noiva (1), P. Brito (1,2), M. Rosa (1), L. Batista (1,2) e C. Ribeiro (3)

(1) Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA); marta.neres@ipma.pt

(2) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa (IDL)

(3) Dep. Geociências, Universidade de Évora; Instituto de Ciências da Terra (ICT); Centro de Ciências do Mar e do Ambiente (MARE)

Summary: High resolution marine magnetic surveys conducted along the continental shelf off West Portugal allowed detailed mapping of the magnetic anomaly field for a 44000 km² area. The new data and maps lead to the identification of unknown anomalies and to an improved definition of previously known ones. We interpret the magnetic anomalies in light of the magmatic events that affected the West Iberia Margin.

Key words: Magnetic anomalies, West Iberia magmatism, marine geophysical surveys

Palavras-chave: Anomalias magnéticas, Magmatismo do Oeste da Ibéria, levantamentos geofísicos

Os corpos magmáticos apresentam frequentemente susceptibilidades magnéticas mais elevadas do que os terrenos encaixantes, sendo os levantamentos magnéticos um método eficaz para detetar intrusões ocultas, pelo menos em áreas onde a actividade antropogénica não seja um grande contaminante magnético.

Para compreender a distribuição e ocorrência de corpos magmáticos na Margem Continental Portuguesa, levámos a cabo vários levantamentos magnéticos marinhos de alta resolução ao longo da plataforma continental entre Cascais e Odeceixe, que consistiram em aquisição ao longo de linhas com espaçamento médio de 1 milha náutica (Fig. 1). Estes levantamentos deveram-se a condições de oportunidade na sequência de estudos magnéticos e tectónicos sobre a Província Alcalina Oeste Ibérica realizados anteriormente por alguns dos autores (e.g. Neres et al., 2012, 2014, 2018; Terrinha et al., 2017).

Complementamos a interpretação dos dados de anomalia magnética por dados recentes de sísmica de reflexão de muito alta resolução, de sísmica mais antiga de baixa resolução e grande penetração (da indústria petrolífera), batimetria multifeixe, inspecção de cartas geológicas e observações de campo junto à costa.

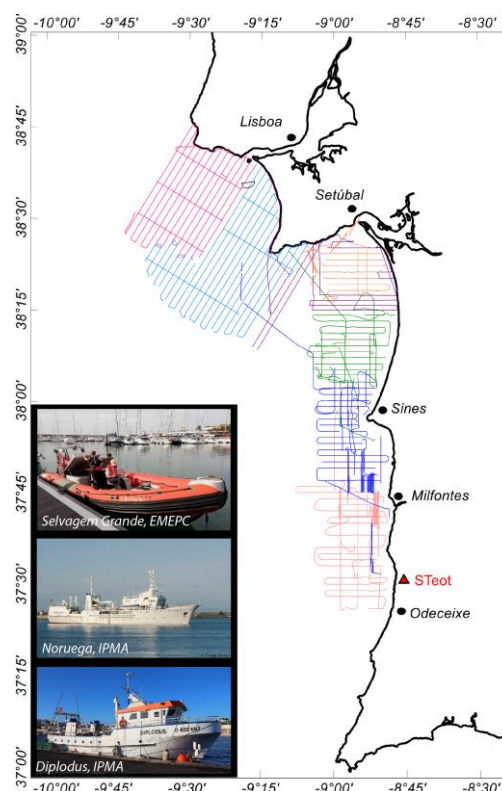


Fig. 1: (a) Linhas de levantamento magnético. O triângulo vermelho localiza a estação de base de São Teotónio, IPMA.

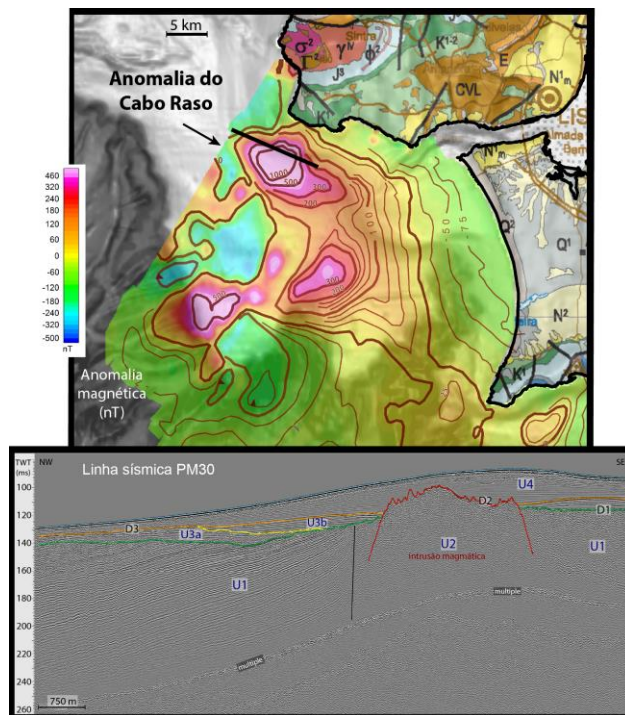


Fig. 2. Pormenor do novo mapeamento do complexo do Cabo Raso. Em cima: anomalia magnética reduzida ao polo. Em baixo: perfil sísmico através da anomalia do Cabo Raso (linha preta acima).

Os novos dados permitiram mapear com muito detalhe anomalias previamente conhecidas, assim como identificar novas anomalias. Na região entre Cascais e Cabo Espichel identificou-se um complexo de anomalias magnéticas, sendo a principal a anomalia do Cabo Raso (>4100 nT), conhecida desde o séc. XV por desviar as agulhas magnéticas dos navegantes. Sísmica de reflexão de alta resolução permitiu verificar que se trata duma intrusão exumada, coberta por menos de dez metros de sedimentos móveis costeiros. Identificou-se ainda a assinatura magnética de um dique ao longo da zona de falha Roca-Espichel (Terrinha et al., 2017).

Agradecimentos: O trabalho de mar foi realizado com recurso a diversas embarcações e navios: Selvagem Grande da EMEPC, NI Noruega e Diplodus do IPMA. O projeto MINEPLAT (ALT20-03-0145-FEDER-000013) financiou os levantamentos ao largo do Alentejo. Apresentação financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) - UIDB/50019/2020. Agradecemos ainda apoio da FCT através dos projetos LISA (PTDC/CTA-GEF/1666/2020) e RESTLESS (PTDC/CTA-GEF/6674/2020).

Referências

- Neres et al. (2014). Magnetic fabric in a Cretaceous sill (Foz da Fonte, Portugal): flow model and implications for regional magmatism. *Geophysical Journal International* 199.1, 78-101.
- Neres et al. (2018). Geophysical evidence for a magmatic intrusion in the ocean-continent transition of the SW Iberia margin. *Tectonophysics*, 744, 118-133.
- Neres et al. (2012). Reconciling Cretaceous paleomagnetic and marine magnetic data for Iberia: New Iberian paleomagnetic poles. *Journal of Geophysical Research – Solid Earth*, 117, B06102.
- Marzen et al. (2020). Limited and localized magmatism in the Central Atlantic Magmatic Province. *Nature Communications*, 11(1), 3397.
- Terrinha et al. (2017). Gravimetric and magnetic fabric study of the Sintra Igneous complex: laccolith-plug emplacement in the Western Iberian passive margin. *International Journal of Earth Sciences*, 107(5), 1807-1833.

Ao largo do Alentejo identificaram-se novas intrusões relacionadas com a província alcalina cretácica, incluindo um alinhamento N-S de ~15 km de intrusões filoneanas paralelas à falha de Deixa-o-Resto, e a delimitação do contorno *offshore* do Complexo Intrusivo de Sines. Ainda neste segmento distinguiu-se uma nova anomalia magnética de grande amplitude (1600 nT) e extensão – Côvo – que deverá corresponder a um plutão instalado no soco paleozóico durante o evento alcalino Cretácico.

A nova anomalia magnética de Milfontes (360 nT) apresenta uma forma elíptica orientada NE-SW e corresponde a uma intrusão plutónica profunda, em soco paleozóico. No prolongamento NE desta anomalia mapearam-se anomalias lineares secundárias interpretadas como feixes de diques de direcção NE-SW. Esta orientação é paralela à falha da Messejana, localizada 30 km a sul, intruída por um dique toleítico, que é, juntamente com o Complexo Vulcano-Sedimentar da Bacia Algarvia e de Santiago do Cacém, uma das manifestações mais representativas da Central Atlantic Magmatic Province (CAMP) na Península Ibérica. A CAMP estende-se desde o centro do Brasil até ao norte de França e é provavelmente, em superfície, a maior LIP (Large Igneous Province) aflorante da Terra, embora seja principalmente constituída por sequências lávicas toleíticas que raramente ultrapassam os 0.3 km de espessura. As intrusões plutónicas da CAMP eram desconhecidas até Marzen et al (2021) as detectarem, na crosta inferior no SE dos EUA, por meio de sísmica de refacção. Assim, a anomalia de Milfontes é provavelmente a primeira fonte plutónica do magmatismo CAMP encontrada na Ibéria.

Sorted bedforms along the Alentejo continental shelf, SW Portugal

Morfologias do fundo marinho classificadas na plataforma continental do Alentejo, SW de Portugal

J. Noiva (1), P. Terrinha (1,2), P. Brito (1,2), C. Ribeiro (3) and M. Rosa (1)

(1) Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA); joao.noiva@ipma.pt

(2) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa (IDL)

(3) Departamento de Geociências da Universidade de Évora

Resumo: Formas granulometricamente calibradas (FGC) foram mapeadas na plataforma continental do Alentejo, utilizando métodos geofísicos (ecossonda multifeixe com retro dispersão acústica e sísmica de reflexão 2D multicanal de ultra-alta resolução). A norte e a sul do canhão de Setúbal as orientações das FGC variam enquanto a sua morfologia se mantém. Discute-se a distribuição dos sedimentos detríticos na plataforma, comparando com a informação existente.

Palavras-chave: Retro dispersão acústica do fundo marinho, sísmica de ultra-alta resolução, análise geomorfológica, distribuição de sedimentos

Key words: Backscatter, ultra-high resolution seismic, geomorphological analysis, sediment distribution

Sorted bedforms (SBs) are observed worldwide, along the inner shelves, in water depths typically <50 m. However, their presence was also reported worldwide in deeper waters, up to 90 m (De Falco et al., 2015). The SBs are sedimentary features characterized by slight topographic relief and asymmetric sequences of coarse sediment domains forming bathymetric lows and fine sediment domains forming bathymetric highs (Coco et. al., 2007)

With multibeam and backscatter (MBES), and Ultra-High Resolution Seismic (UHRS) data acquired, in the MINEPLAT project, in the Alentejo continental shelf, two SBs domains were identified. In the northern area of the Setúbal Canyon (Sado area), the SBs domain occurs mainly between 70 m and 80 m water depth, although it extends with more scattered occurrences up to 50 m and to the nearshore (Fig. 2A). In this area, the SBs occur along an NW-SE oriented corridor. In the southern area of the canyon (Alentejo area), the SBs domain is constrained between 100 m and 115 m water depth (Fig. 2B). In this area, the SBs occur within an N-S-oriented corridor. The main orientations of the SBs, north, and south of the Setúbal canyon are shown in Fig. 1.

Using GIS tools and the centreline attributes (CA) technique proposed by Nyberg B. et al. (2015) the geometric characterization and the geomorphological shape classification were made. Notwithstanding, the different orientations of individual SBs with respect to the Sado canyon their shape analysis shows a consistent similarity.

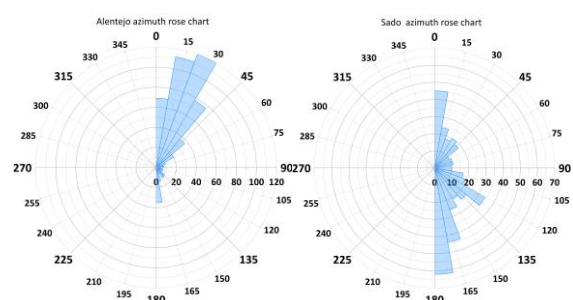


Fig. 1. Rose diagrams showing the azimuth of the major axis of the SBs. On the right, is the distribution in the Sado area. On the left is the distribution in the Alentejo area.

The interpretation of the MBES and URHS data also allows the establishment of a transport model of detrital sediments on the Alentejo continental shelf, with the establishment of transition boundaries. It is possible to define 3 major domains (from offshore towards the shoreline): 1) where fine sediments are prevalent, 2) where fine sediments migrate shoreward over coarse sediments, materialized by the formation of individualized SBs (Fig. 2C), and 3) where coarse sediments are prevalent.

This works shows that the distribution of surficial sediments is not in agreement with the distribution pattern shown in the “Carta dos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental” (IH, 2005). Although the “Carta de Sedimentos” results from a good sampling mesh, carried out with 1 nm spacing, the data resulting from the acquisition by geophysical methods allows continuous mapping of the seabed using MBES and UHRS methods.

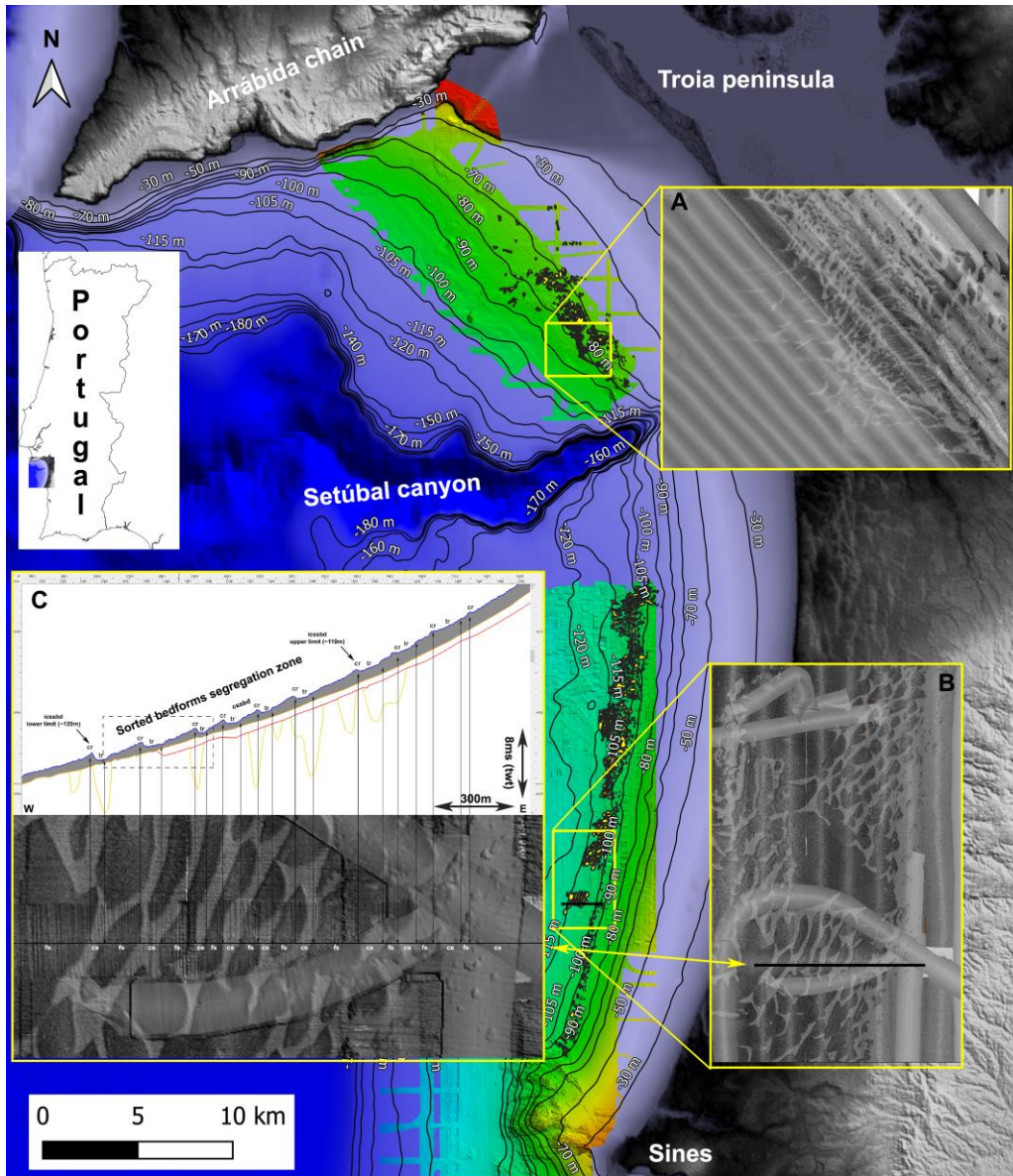


Fig. 2. Alentejo continental shelf MINEPLAT MBES mosaic, over EMODnet bathymetry data with the identified north and south SBs domains. Insets A and B show backscatter data examples of SBs occurrences. Inset C shows the relation between a UHRs line and the backscatter data.

Acknowledgments: This work was funded by the MINEPLAT project ALT20-03-0145-FEDER-000013. Marine Geology and Geophysics Laboratory (SEISLAB) of Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), where the interpretation work was developed, is acknowledged.

References

- Coco, G., Murray, A.B., Green, M.O., Thielert, E.R., Hume, T.M., (2007). Sorted bedforms as self-organized patterns: 2. Complex forcing scenarios. *Journal of Geophysical Research* 112, F03016
- De Falco, G., Boudillon, F.; Conforti, A.; Di Bitetto, M., Di Martino, G.; Innangi, S., Simeone, S., Tonielli, R. Sorted bedforms over transgressive deposits along the continental shelf of western Sardinia (Mediterranean Sea). *Marine Geology*. 2015, 359, 75–88
- IH (2005). Carta SED5, Cabo da Roca ao Cabo de Sines. Folha 5. Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental. Lisboa, Instituto Hidrográfico, coordenação de Maria Manuela Matos
- Nyberg, B., Buckley, S.J., Howell, J.A., Nanson, R.A., 2015. Geometric attribute and shape characterization of modern depositional elements: a quantitative GIS method for empirical analysis. *Computers & Geosciences*. 82, 191–204.

Late Cretaceous magmatism offshore the central West Iberian Margin

Magmatismo do Cretácico Superior no offshore da margem central oeste Ibérica

R. Pereira (1,4), C. Escada (2), P. Represas (3), J. Mata (4), F. Rosas (4) and R. Ramalho (5,4)

(1) GeoBioTec, Dep. Ciências da Terra, FCT-UNL, Monte de Caparica, Portugal. rns.pereira@campus.fct.unl.pt

(2) CERENA/DER, Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal

(3) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Estrada da Portela, Amadora, Portugal

(4) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz, Lisbon, Portugal.

(5) School of Earth and Environmental Sciences, Cardiff University, Cardiff, UK

Sumário: A análise de dados de reflexão sísmica, combinados com modelos de inversão de dados potenciais (gravimetria-magnética), revela a presença, natureza e detalhes de um sistema magmático localizado no offshore da Margem Oeste Ibérica. As evidências incluem o vulcão de Fontanelas com escoadas de lavas associadas, a Intrusão do Esporão da Estremadura, e diversos complexos de soleiras, enquanto manifestações da Província Alcalina Atlântica, do Cretácico superior. Este sistema magmático sugere implicações nos modelos de ascensão adiabática no manto, tentativamente associados a uma pluma mantélica duradoura e enraizada na anomalia centro-este atlântica.

Palavras-chave: Vulcão de Fontanelas, Intrusão do Esporão da Estremadura, Cretácico superior, tectono-magmatismo, Margem Oeste Ibérica

Key words: Fontanelas volcano, Estremadura Spur intrusion, tectono-magmatism, West Iberian Margin

The evolution of the West Iberian Margin (WIM) is punctuated by three discrete magmatic events, that include (Martins et al., 2008; Mata et al., 2015): 1) the tholeiitic episode associated with the Central Atlantic magmatic Province (~200 M.a.); 2) the transitional magmatic event (150-148 M.a.); and 3) the Late Cretaceous alkaline (100-70 M.a.), from which the Sintra, Sines and Monchique intrusions, the Lisbon Volcanic Complex and numerous other occurrences are typical examples on outcrops. Evidence of magmatism from this later event is poorly known on the offshore of the WIM and its impacts on the evolution of the margin are still unclear. Herein, we report the evidence of a complex plumbing system that includes the Estremadura Spur Intrusion (Pereira et al., 2021), the Fontanelas volcano (Miranda, 2010; Miranda et al., 2010; Pereira et al., 2022) and associated sill complexes, to provide insights on how these relate with the overall evolution of the margin, and its implications for improved knowledge of the Central Atlantic Alkaline Province. Using seismic reflection datasets and potential field data models (gravimetric and magnetic) from the Estremadura Spur, offshore central Portugal, the nature, and architecture of magmatic features are revealed, and its tectono-magmatic controls for magma emplacement are disclosed (Pereira et al., 2021; Pereira et al., 2022; Escada et al., 2022).

The Estremadura Spur Intrusion

The Estremadura Spur Intrusion is a sizeable laccolith with a total volume of about 532 km³ that intrudes Late Cretaceous strata. 3D gravity and magnetic inversion and 2D magnetic forward modelling suggest that the composition of the laccolith is predominantly granitic. Seismic stratigraphy of the area suggests that magmatic emplacement occurred during the Cenomanian-Maastrichtian, a period associated with the counter-clockwise rotation of Iberia during the opening of the Bay of Biscay. The study of the tectono-magmatic interplay provides insights on the evolving stress field, that by the Cenomanian onset of emplacement shows the presence of localised radial and concentric faulting in the area of the intrusion, later affected by broader pre-Maastrichtian NE-SW compressive stresses.

The Fontanelas volcano and associated lava flows

The Fontanelas volcano is a unique example of a buried edifice imaged with 2D and 3D seismic data. With a total height of ~2800 m, the base of the volcanic complex extends over an area of ~500 km², showing evidence of multiple secondary vents. The internal architecture of the volcano provides information on the growth of the composite edifice. Geochemical analysis of dredges collected at the crest of the Fontanelas volcano yielded highly vesicular alkaline basalts (Miranda, 2010). Integration of 3D gravity and magnetic inversion and 2D magnetic

forward modelling provide additional insights on the overall nature of the edifice, supporting a dominant basaltic composition. Our analysis of 3D seismic data reveals the presence of two distinct events of offshore extrusive magmatism. The first, preceding the build-up of the volcanic edifice reveals multiple and superimposed fan-shape to tabular crenulated submarine sheet or 'a'ã lava flows, sourced from a fissure-type feature located SE of the Fontanelas volcano. The second group of lava flows is visible at the SW flank of the volcano, comprising dendritic and lobate lava flows (either pahoehoe or submarine lobate flows) directly associated with the final stages of volcanic build-up.

Sills and Sill Complexes

Throughout the study area, more than 100 sills and sill complexes were mapped and measured. Sills are characterised by distinct geometries (planar to saucer-shaped), dominantly intruding 250–500 m strata older than mid-Campanian age. On average sills are 30-to 40-m thick, with individual areas that can reach 59 km².

Acknowledgements: The authors wish to thank Direção Geral de Energia e Geologia – DGEG, for the permission to investigate and publish the datasets. This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds (PIDDAC) UIDB/04035/2020-GeoBioTec and UIDB/50019/2020-IDL.

References

- Escada, C., Represas, P., Santos, F., Pereira, R., Mata, J. and Rosas, F.M. (2022) New Evidence of Late Cretaceous Magmatism on the Offshore Central West Iberian Margin (Estremadura Spur) from Potential Field Data. *Tectonophysics*, 832.
- Martins, L. T., Madeira, J., Youbi, N., Munhá, J., Mata, J., and Kerrich, R. (2008). Rift-related magmatism of the Central Atlantic Magmatic Province in Algarve, Southern Portugal. *Lithos*, 101, 102–124.
- Mata, J., Alves, C. F., Martins, L., Miranda, R., Madeira, J., Pimentel, N., Martins, S., Azevedo, M. R., Youbi, N., De Min, A., Almeida, I. M., Bensalah, M. K., and Terrinha, P. (2015). 40Ar/39Ar ages and petrogenesis of the West Iberian Margin onshore magmatism at the jurassic-cretaceous transition: Geodynamic implications and assessment of open-system processes involving saline materials. *Lithos*, 236–237, 156–172.
- Pereira, R., Mata, J., Ramalho, R.S., Rosas, F.M., Silva, B., Represas, P. and Escada, C. (2022) Nature, Timing and Magnitude of Buried Late Cretaceous Magmatism on the Central West Iberian Margin. *Basin Research*, 34, 771-796.
- Pereira, R., Rosas, F., Mata, J., Represas, P., Escada, C. and Silva, B. (2021) Interplay of Tectonics and Magmatism During Post-Rift Inversion on the Central West Iberian Margin (Estremadura Spur). *Basin Research*, 33, 1497-1519.
- Miranda, R. (2010) Petrogenesis and Geochronology of the Late Cretaceous Alkaline Magmatism in the West Iberian Margin. PhD Thesis, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Miranda, R., Terrinha, P., Mata, J., Azevedo, M.d.R., Chadwick, J., Lourenço, N. and Moreira, M. (2010). Caracterização Geoquímica Do Monte Submarino De Fontanelas, Margem Oeste Ibérica. X Congresso de geoquímica dos países de língua oficial portuguesa, XVI Semana de geoquímica, Porto, Portugal, Universidade do Porto.

Final Remarks

The offshore WIM is characterised by multiple evidence of Late Cretaceous magmatic features, which are part of the Atlantic Alkaline Province. The plumbing system was emplaced in two main pulses of activity: 1) Coniacian(?) to lower Campanian(?), characterised by fissural and fault-controlled volcanism, showing massive lobate/sheet lava flows; and (2) a voluminous intrusive and extrusive event of mid to late Campanian age, that includes the intrusion of the Estremadura Spur laccolith and the prominent Fontanelas compound volcano with associated dendritic lava flows. The study area also reveals the interplay of magmatic emplacement and tectonics, with the Estremadura Spur Intrusion acting as a rigid body accommodating the regional stresses associated with the progressive rotation of the compressive stress fields from a NE-SW trend during the Campanian-Paleocene(?), towards a NW-SE direction during the Paleocene-Miocene.

Montes submarinos Leão, Josephine e Unicórnio da Crista Madeira-Tore: morfologia, controlo tectónico e ocorrências minerais de crostas de Fe e Mn

Lion, Josephine and Unicorn Seamounts of the Madeira-Tore Rise: morphology, tectonics and Fe-Mn crusts

P. Terrinha (1,2), L. Batista (1,2), M. Carapuço (1), P. Nogueira (3), M. Neres (1,2), V. Magalhães (1,2), A. Z. Miller (4), M. Mil-homens (1), M. Caetano (1), M. Miranda (1,2)

(1) Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), pedro.terrinha@ipma.pt

(2) Instituto Dom Luiz (IDL), Universidade de Lisboa

(3) Instituto de Ciências da Terra, Pólo de Évora e Departamento de Geociências da Universidade de Évora

(4) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC), Seville, Spain.

Summary: *The submarine Madeira-Tore Rise is an 1100 x 250 km morphologic feature, parallel to the magnetic ocean anomalies, that rises more than 4 km above the abyssal depths of the North Atlantic ~600 km off Africa and ~300 km off West Portugal. Three oceanographic cruises were carried out using the Mário Ruivo and D. Carlos I research vessels of the Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I. P. (IPMA) and Instituto Hidrográfico, respectively. In this work, we present new data of the Lion, Josephine and Unicorn seamounts. High-resolution multibeam bathymetry and backscatter, magnetic surveys and characterization of Fe-Mn crusts.*

Key words: *Madeira-Tore Rise, Fe-Mn crusts, magnetic anomalies, tectonics, Geomicrobiology*

Palavras-chave: *Crista Madeira-Tore Rise, crostas de Fe-Mn, anomalias magnéticas, tectónica, Geomicrobiologia*

No âmbito da Directiva Quadro do Estratégia Marinha (DQEM) foram realizadas três campanhas oceanográficas para o estabelecimento de dados de base ambiental na Crista Madeira-Tore (CMT).

A Crista Madeira-Tore é um relevo linear positivo submarino com cerca de 1100 km de comprimento e aproximadamente 250 km de largura, alongada paralelamente às anomalias magnéticas oceânicas, erguendo-se dum fundo abissal de cerca de 4,5 km de profundidade até à profundidade geral de 2,5 km com alguns picos acima de 500 m de profundidade. A Crista Madeira-Tore dista mais de 600 km da costa de África e mais de 300 km da costa portuguesa.

A natureza e origem da Crista Madeira-Tore são apenas parcialmente conhecidas. Na placa Eurásia a Crista Madeira-Tore está aparentemente relacionada com a ruptura continental e o limite litosférico Continente-Oceano, com magmatismo profundo e vulcanismo. Na placa africana a Crista Madeira-Tore ocorre como intra-placa oceânica.

A Crista Madeira-Tore é intersectada pelo limite de placas Açores-Gibraltar, mais precisamente pela falha transformante “Falha Gloria” com cerca de 1000 km de comprimento (Batista et al. 2017), onde se geraram sismos instrumentais M7 a M8.4, ou seja,

dos maiores registados no planeta em falhas transformantes (Buforn et al., 1988).

O vulcanismo ao longo da Crista Madeira-Tore tem sido estudado por diversos autores (Geldmacher et al., 2006; Merle et al., 2009). Na placa Eurásia o vulcanismo é de idade cretácica (100-80 Ma) enquanto na placa africana o vulcanismo é essencialmente neogénico, com algumas excepções de montes submarinos de idade cretácica e paleogénica. Rochas vulcânicas de idade quaternária foram colhidas no limite de placas, na Falha Gloria.

Os levantamentos realizados em 2021 e 2022 foram levados a cabo a bordo do navio de investigação (NI) Mário Ruivo do IPMA e do NRP D. Carlos I do Instituto Hidrográfico. Além dos estudos da física e química da coluna de água, biologia da coluna de água e substrato, levaram-se a cabo recolha de imagens com recurso ao ROV Luso da Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental, amostragem de rochas do fundo por dragagem, levantamentos batimétricos multifeixe e levantamentos magnéticos.

Neste trabalho são apresentados:

a) mapas sinópticos com indicação dos métodos usados (figuras 1 e 2);

b) mapa batimétrico e de anomalia magnética do monte submarino Leão (figura 3);

c) caracterização mineralógica e microbiológica sumária das crostas de Fe-Mn do monte submarino Leão (figura 4).

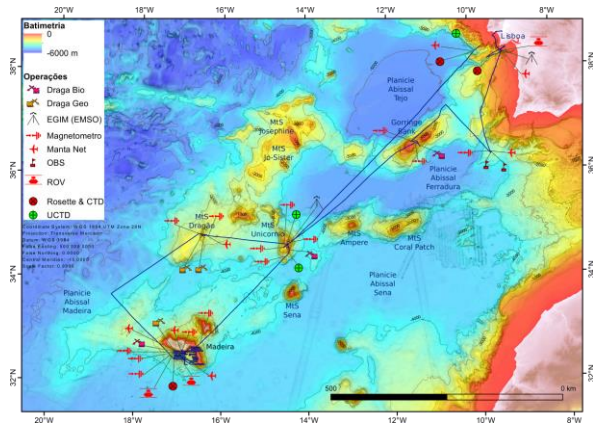


Fig. 1. Mapa dos métodos usados na campanha Madeira Tore realizada a bordo do NI Mário Ruivo em 2021.

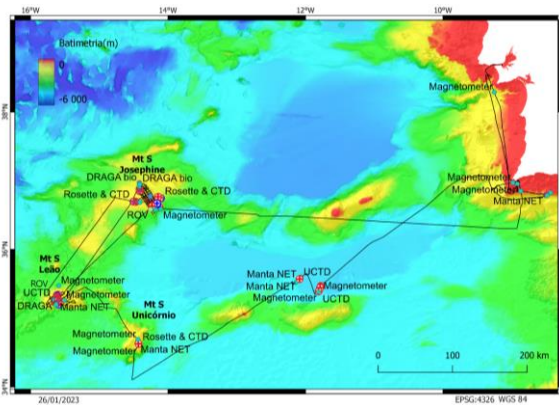


Fig. 2. Mapa dos métodos usados na campanha Madeira Tore realizada a bordo do NI Mário Ruivo em 2022.

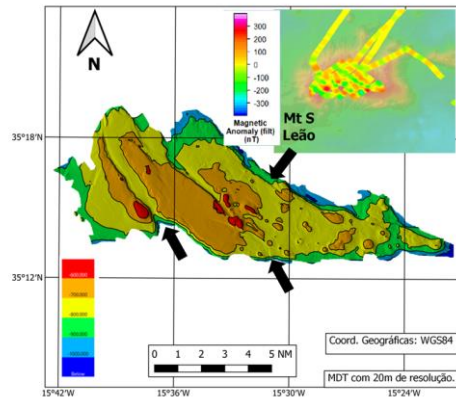


Fig. 3. Mapa da batimetria do monte submarino Leão e anomalia magnética. Notem-se que os lineamentos marcados com as setas pretas correspondem provavelmente a falhas de desligamento de orientação NW-SE e os picos topográficos a anomalias magnéticas positivas, sugerindo acreção magmática controlada tectonicamente.

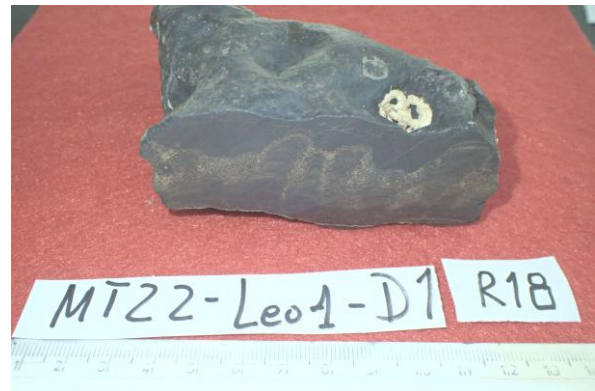


Fig. 4. Secção de crosta de Fe-Mn colhida no monte submarino Leão com estruturas colunares de crescimento em camadas à escala sub-milimétrica.

Agradecimentos: Financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) –UIDB/50019/2020

Referências

- Batista L, Hübscher C, Terrinha P, Matias L, Afilhado A, Lüdmann T (2017) Crustal structure of the Eurasia–Africa plate boundary across the Gloria Fault, North Atlantic Ocean. *Geophys J Int* 209(2):713–729. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx050>
- Buforn, E., Udías, A. & Colombás, M. A., 1988. Seismicity, source mechanisms and tectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary, *Tectonophysics*, 152(1-2), 89-118.
- Geldmacher, J., Hoernle, K., Klügel, A., Bogaard, P. v. d., Wombacher, F. & Berning, B., 2006. Origin and geochemical evolution of the Madeira-Tore Rise (eastern North Atlantic), *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B9), B09206, doi:10.1029/2005JB003931.
- Merle, R., Schärer, U., Girardeau, J. & Cornen, G., 2006. Cretaceous seamounts along the continent–ocean transition of the Iberian margin: U–Pb ages and Pb–Sr–Hf isotopes, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(19), 4950-4976, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2006.07.004.

Paleolitorais na costa do Algarve Central (Portugal)

Paleo shorelines on the Central Algarve coast (Portugal)

S. B. Teixeira (1), C. A. Pinto (1) e M. Rosa (2)

(1) Agência Portuguesa do Ambiente, sebastiao.teixeira@apambiente.pt

(2) Instituto Português do Mar e da Atmosfera

Summary: Here we present the results of offshore Central Algarve sampling, using side scan sonar, combined with scuba dives, and sediment/rock samples. Two submerged structures, with vertical cliffs, were identified with the top at depths of -15 m (MSL) and -8 m (MSL), probably formed during the Eemian. A third paleoshoreline was identified on the current beach, consisting of beach rock, of Holocene age.

Key words: *Paleo shoreline; beachrock; scuba diving; radiocarbon dating*

Palavras-chave: Paleolitorais, calcarenitos, mergulho; datações radiocarbono

1. Introdução

O conhecimento da geologia e respectiva cartografia da plataforma continental interna é ainda muito incipiente. Entre 1997 e 2007, foi feita cartografia na zona submarina da costa sul do Algarve, até à batimétrica dos -30m, entre a Ponta de Piedade e a Galé (Fig. 1), recorrendo a sonar de varrimento lateral, complementado com cerca de três centenas de mergulhos com escafandro autónomo e colheita de amostras superficiais. Este trabalho apresenta os resultados parcelares dessa prospeção.

2. Método e Resultados

Na área de estudo, entre a Ponta da Piedade e Albufeira, até à batimétrica dos 30m (Fig. 1), o fundo é essencialmente rochoso, com predomínio de litologias detríticas sobretudo calcarenitos de grão médio com cimento carbonatado, ocasionalmente conglomeráticos, no contacto com a plataforma de abrasão cortada em rochas do Miocénico.

No âmbito desses trabalhos, foram identificadas quatro estruturas lineares constituídas por rochas detríticas consolidadas, com escarpados sub-verticais com alturas até 4m, destacados do fundo e com continuidade longilitoral, interpretados como testemunhos de paleolitorais, à semelhança de outros paleolitorais submersos identificados ao largo do Algarve (Teixeira e Pinto, 2002).

Foram identificados três conjuntos de estruturas a profundidades diversas (fig.1): um conjunto mais profundo, a Pedra do Lavajo (Armação de Pêra, fig. 2C) e a Pedra de Fora (Alvor), mais expressivas e com maior continuidade e desenvolvimento linear, em que o topo atinge as batimétricas de -14m/-15m (relativos ao Nível Médio do Mar-NMM). Um segundo conjunto de paleolitorais foi identificado a profundidades menores, ao largo das mesmas baías,

mas com menor expressão, aos -7m (NMM) em Alvor e aos -8m (NMM) em Armação de Pêra. Neste segundo conjunto, foi possível identificar o contacto com a plataforma de abrasão em Miocénico, sendo a base do paleolitoral, constituído por calcoconglomerados (fig. 2D) com burgaus e blocos de dimensões superiores a 10cm, subjacentes a série com cerca de 2m de espessura de calcarenitos de grão médio, com estratificação sub-horizantal. Nos conglomerados inferiores (Fig. 2D) foram identificados burgaus de calcarenitos de grão médio comprovando que este nível mais inferior é posterior ao nível mais profundo. Um terceiro conjunto de estruturas foi identificado sob a praia atual, assente sobre os leixões atuais activos (fig. 2A, B), sendo possível identificar uma sequência com cerca de pelo menos 3m de espessura, de calcarenitos de grão médio, agregados por cimento carbonatado. Na zona oriental da baía de Armação de Pêra, esta sequência assenta diretamente sobre os leixões talhados em formações do Miocénico (Fig. 2B).

Datações radiocarbono executadas em fragmentos de conchas contidas nas rochas (Tabela I) mostram que a sequência existente sob a praia atual tem idade holocénica, sugerindo que na sua génese o nível do mar era muito similar ao nível atual, tal como indicam os resultados obtidos por Teixeira *et al.* (2005) na costa de Quarteira.

As datações dos níveis submersos revelaram valores superiores ao nível de deteção do método (>48 000BP) e valores mais recentes em Armação de Pêra (Pedra Terra). Este último resultado não é compatível com as curvas disponíveis do nível médio do mar plistocénico (*e.g.* Goetzer *et al.*, 2016), possivelmente em consequência da reação química do carbono com a água do mar ou recristalização,

após a deposição, rejuvenescendo as datações, como verificado por Carrio *et al.* (2013).

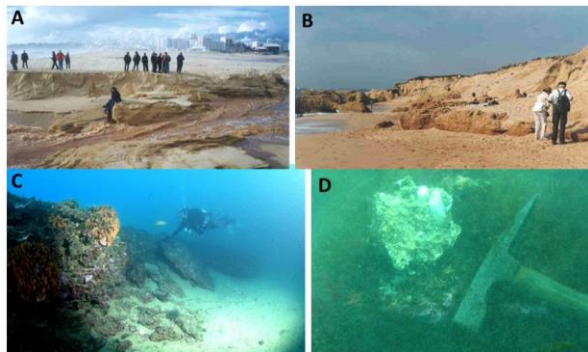


Fig. 1. Afloramento de calcarenito holocénico na praia da Armação de Pêra/Foz Alcantarilha (A) e na Galé (B); Afloramento de calcarenito pliocénico na pedra do Valado (C, foto de Vasco Pinhol); Calcoconglomerado na Pedra de Terra (Alvor, D).

A profundidade dos paleolitorais submersos identificados sugere que se tratam de estruturas consolidadas provavelmente durante o Eemiano ($\approx 125\ 000\text{BP}$).

Tabela 1 Resultados das datações radiocarbóno realizadas em conchas contidas nas rochas dos afloramentos

Ref ^o Laboratório	Profundid. (m-NMM)	Idade calibrada	Local
Beta 149606	+ 3	3 420-3 560 BP	Galé
Beta 161671	+3	4 270-3 920 BP	Foz Alcantarilha
Beta 182190	- 7	>48 500 BP	Pedra Terra (Alvor)
Beta 182191	- 8	>48 500 BP	Pedra Terra (Alvor)
Beta 149604	-15	>51 030 BP	Pedra Valado (A.Pêra)
Beta 149605	-11	43380-42 060 BP	Pedra Terra (A. Pêra)

3. Conclusões

Face à continuidade altimétrica entre as estruturas identificadas, considera-se que correspondem a três níveis de paleolitorais consecutivos. O mais antigo, corresponde à formação mais profunda cujo topo atinge os -14 m-15 m (NMM), com uma distância máxima de 1.8 km (em Alvor) e 5 km (em Armação de Pêra), relativamente à costa atual. O segundo paleolitoral, cujo topo atinge cotas inferiores, de -7 a -8 m (NMM), dista 650 m em Alvor a 1000 m em Armação de Pera da costa atual. Já o paleolitoral holocénico identificado na praia de Armação de Pêra, indicia a relativa estabilidade do litoral nos últimos 4000 anos.

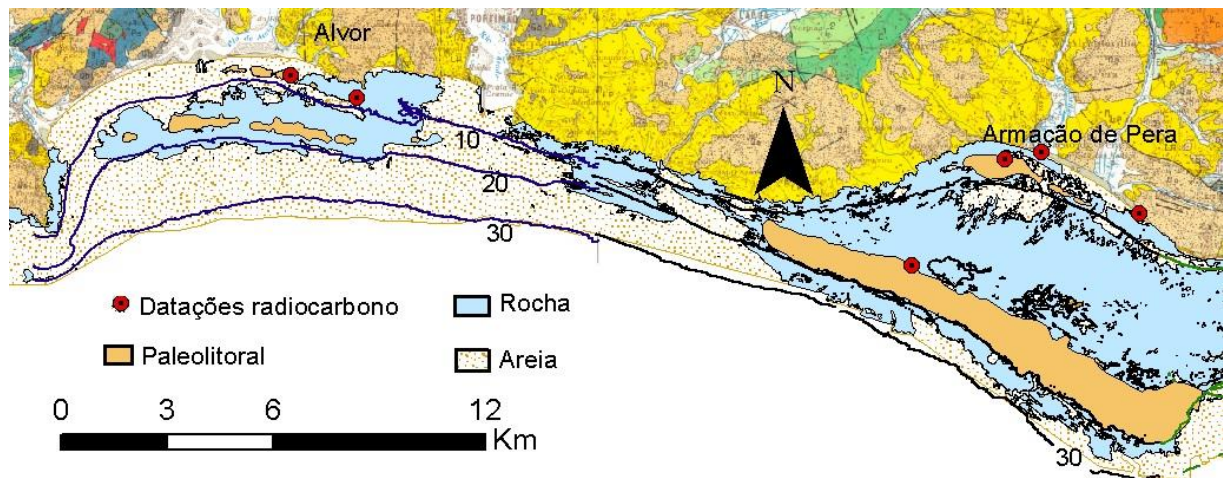


Fig. 2. Localização dos paleolitorais identificados ao largo do Algarve central. Batimetria em metros, referidos ao Zero Hidrográfico, 2 m abaixo do Nível Médio do Mar. Base terrestre - Carta Geológica da Região do Algarve, escala 1/100.00 (Manupella, 1992).

Referências

- Carrio, J. A., Albarracín, S., Montes, I. M., Branco, G. F., Bouzas, A. F., Salgado, J. R. (2013). An indurated Pleistocene barrier on the inner shelf of the Gulf of Valencia (western Mediterranean). Evidence for a prolonged relative sea-level stillstand. *Geo-Marine Letters* 33, 209-216.
- Goelzer, H., Huybrechts, P., Loutre, M.F., Fichelet, T. (2016). Late interglacial climate and sea-level evolution from a coupled ice-sheet-climate model. *Clim. Past*, 12, 2195-2213.
- Manupella (Coordenação) (1992). Carta Geológica da Região do Algarve. *Serv. Geol. Portugal*.
- Teixeira, S.B. e Pinto, C.P (2002). Submarine Evidences of Holocene Shoreline Migration on Quarteira Coast (Southern Algarve-Portugal). *The Changing Coast /EUCC*, Portugal. Ed Eurocoast-Portugal, Vol.III, 411-416.
- Teixeira, S.B. Gaspar, P. e Rosa, M. (2005). Holocene sea-level index points on the Quarteira coast (Algarve, Portugal). *Proceedings Iberian Coastal Holocene Paleoenvironmental Evolution*, Lisboa, pp. 125-127.

Assinatura microtextural em grãos de quartzo e em foraminíferos de depósitos de tsunamis da plataforma sul portuguesa

Microtextural signatures in quartz grains and foraminifera from tsunami deposits of the Portuguese shelf

M. Yhasnara (1), P. J.M Costa (2), F. Dourado (3) e Equipe Científica RV-METEOR - M-152

(1) Departamento de Geologia Aplicada, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, myhasnara@cepedes.uerj.br

(2) Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Rua Sílvio Lima, Univ. Coimbra - Pólo II, 3030-790 Coimbra, Portugal

(3) Departamento de Geologia Aplicada, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Summary: This study presents results from two cores collected on the southern shelf of Portugal, aiming at understanding the hydrodynamics of high energy events in the offshore record. The lithostratigraphy of the cores corresponds to the Upper Holocene sedimentation, with sandy intercalations rich in bioclastic gravels and erosive basal contact. The exoscopic results of quartz grains demonstrate a high degree of mechanical marks in the tsunami units. In compositional terms, the increase of quartz grains in these units favors the increase of mechanical marks. Furthermore, the geomorphological configuration influenced the formation of mechanical microtextures observed in one of the cores. The taphonomy of foraminifera showed a predominance of dissolution alteration in the silty layers, while the sandy units exhibit a slight predominance of physical processes. With this work it was possible to characterize backwash phases through different marks left in the offshore record of the study area.

Key words: offshore, backwash, exoscopic, high-energy events, SEM

Palavras-Chave: offshore, backwash, exoscópico, eventos de alta energia, SEM

Neste estudo, investigou-se o registo de eventos de alta energia no setor *offshore* da Margem Sudoeste Portuguesa, devastada pelo terremoto e tsunami de Lisboa em 1755 CE (Duarte et al., 2013). Para tanto, foram estudados dois testemunhos de sedimentos *offshore* (Fig. 1), obtidos na expedição RV METEOR M152 (Reicherter et al., 2019). Com este estudo, pretende-se aumentar a compreensão da dinâmica de eventos de alta energia e caracterizar as fases de *backwash* por meio de diferentes marcas no registo sedimentar *offshore* da plataforma sul do Algarve.

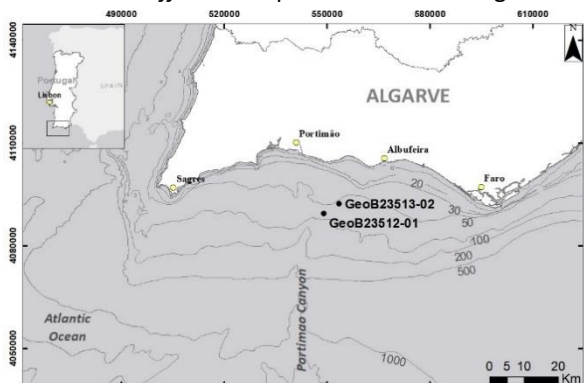


Fig. 1. Localização da área de estudo e enquadramento das sondagens analisadas

As principais ferramentas utilizadas foram a análise microtextural de grãos de quartzo (fração 125-500 µm).

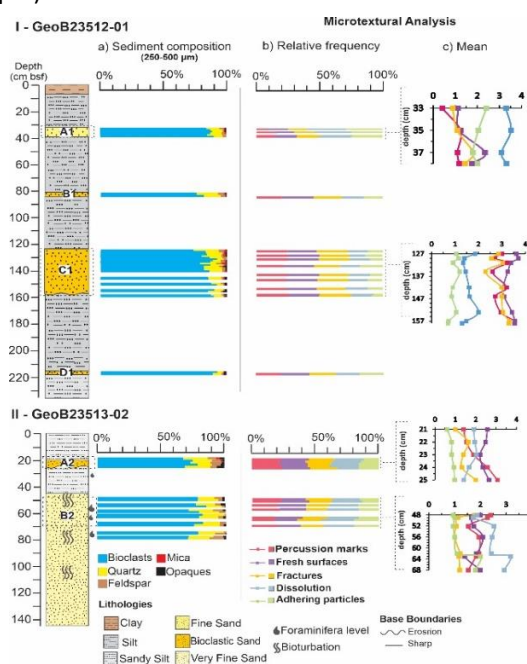


Fig. 2. Sondagens GeoB23512-01 e GeoB23513-02, a) composição sedimentar; b) Frequência Relativa das microtexturas; c) Valores médios da classificação microtextural

e a tafonomia de foraminíferos, para avaliar alterações provocadas por processos físicos de alta energia e químicos, em regime de baixa energia.

De acordo com as características macroscópicas das sondagens, detectou-se eventos de alta energia com fluxos de alta densidade da costa em direção ao mar, provavelmente desencadeados pelo *backwash* de tsunamis. Estes eventos são responsáveis pela deposição das unidades arenosas B1, C1, D1 e A2 (Fig. 2), abundantes em cascalhos bioclásticos, contato basal erosivo e relativo enriquecimento de grãos de quartzo na composição.

Além disso, essas unidades são classificadas com elevada presença e grau (Fig. 2b, 2c) de marcas de percussão, fraturas e superfícies recentes (Fig. 3 – 1,2,3), geradas em contexto de elevada energia hidrodinâmica, enquanto nas unidades de areia fina A1 e B2 predominam marcas de dissolução e partículas aderentes (Fig. 3 – 4,5)

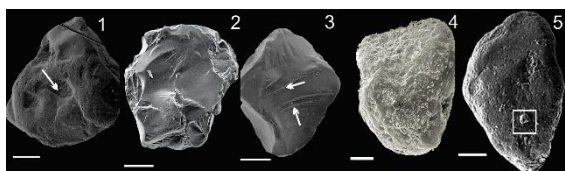


Fig. 3. Imagens MEV de grãos de quartzo. Barra de escala: 100 µm. 1) Marca de percussão; 2) Superfície recentes; 3) Fraturas; 4) Dissolução e 5) Partículas aderentes

Foi observado que o leve incremento de grãos de quartzo nas unidades B1, C1, D1 e A2, inseridos pela erosão do fluxo, promoveu colisões mais efetivas gerando marcas mecânicas nos grãos de quartzo. Do ponto de vista hidrodinâmico, o fluxo de *backwash* é influenciado pela topografia submarina. O canhão de Portimão canaliza o fluxo com maior velocidade e energia, promovendo mais geração de marcas mecânicas nos grãos de quartzo da sondagem GeoB23512-01, que é mais influenciada por esta energia do que GeoB23513-02, conforme ilustrado na Fig. 4. Finalmente, a tafonomia dos foraminíferos mostrou a predominância de alteração química na camada siltosa (32-34 cm) da GeoB23513-02. Por outro lado, nos níveis da unidade B2 (54-59 cm, 62-66

cm e 74-78 cm) percebeu-se a combinação de processos de alteração física e química. A composição rica em bioclastos em B2 não permitiu maior intensidade de desgaste físico nos espécimes.

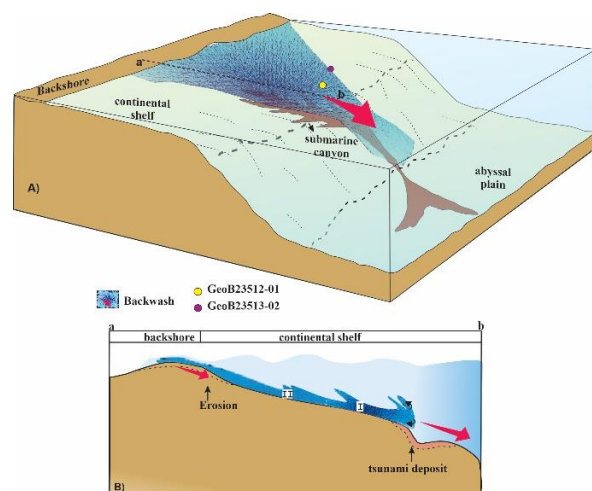


Fig. 4. Modelo conceptual da dinâmica de backwash. A) Diagrama ilustrando a posição relativa dos testemunhos em relação ao canhão de Portimão; B) Perfil enfatizando a geração de microtexturas segundo a concentração de sedimentos na coluna d'água.

Reconhecer assinaturas microtexturais de tsunami em contexto *offshore* não é uma tarefa simples, por se tratar de um ambiente dinâmico aberto a processos que prejudicam a preservação dessas feições. No entanto, com os resultados obtidos, foi possível comprovar como o setor offshore da plataforma algarvia possui condições de arquivar depósitos de alta energia, preservando características litoestratigráficas e microtexturais nas unidades B1, C1, D1 e A2 e em especial devido a maior expressão na estratigrafia, as unidades C1 e A2. Da mesma forma, foi possível caracterizar as fases de *backwash*, associando as microtexturas dos grãos de quartzo com a composição e a concentração sedimentar, bem como com a topografia submarina.

Agradecimentos: Expressamos agradecimentos ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio com a bolsa de estudo. Os autores agradecem profundamente à equipe de pesquisa e técnica do RV METEOR – M152. A Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) é reconhecida pelo financiamento do projeto OnOff PTDC/CTAGEO/28941/2017.

Referências

- Duarte, J. C. Rosas, F. M. Terrinha, P. Schellart, W. P. Boutelier, D. Gutscher, M.-A. & Ribeiro, A. (2013). Are subduction zones invading the Atlantic? Evidence from the southwest Iberia margin. *Geology*, 41(8), 839–842.
- Reicherter, K. Vött, A. Feist, L. [...] & Huhn-Frehers, K. (2019). Lisboa 1755, Cruzeiro nº M152/1, 02.11. - 14.11.2018, Funchal (Portugal) - Hamburgo (Alemanha). Em METEOR-Berichte (Vol. M152, pp. 1-36). Gutachterpanel Forschungsschiffe.

SESSÃO CIENTÍFICA 7 (SC_7)
(Geologia Estrutural e Tectónica)

Conveners: Rui Dias; Fernando Carlos Lopes; Helena Sant'Ovaia

Determining Late Cretaceous intra-plate magmatic emplacement models and plate motion of the West Iberian Margin

B. Araújo (1), R. Pereira (2,3), J.C. Duarte (1,3) and J. Mata(1,3)

(1) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016, Lisboa, Portugal. bruno555araujo@gmail.com

(2) GeoBioTec, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

(3) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz, Lisboa, Portugal

Sumário: A Margem Oeste Ibérica foi um local onde ocorreu magmatismo tardi-Cretácico pós-rifte coevo com múltiplos eventos magmáticos no Atlântico Central e Norte. A sua implantação e respetivas consequências na microplaca ibérica são aqui investigadas e discutidas. Neste ciclo magmático alcalino, os maciços intrusivos de Sintra, Sines e Monchique, o Complexo Vulcânico de Lisboa e diversos complexos filonianos, bem como os vários montes submarinos contemporâneos, são abordados, em aspetos geocronológicos e espaciais, para avaliar o contributo dos efeitos tectónicos e mantélicos para a sua origem. Usando o software GPlates, avaliamos os diferentes mecanismos que podem explicar o magmatismo, incluindo 1) hot-spot; 2) superpluma estacionária com diferente plumelets; ou 3) edge-driven convection. Os resultados preliminares sugerem que uma superpluma estacionária emitindo plumelets distintas, que originariam as ocorrências magmáticas tardi-cretácicas ibéricas influenciadas pela deriva não linear da microplaca ibérica.

Palavras-Chave: GPlates, Magmatismo, Geodinâmica, Tectónica de Placas, Dinâmica Mantélica

Key words: GPlates, Magmatism, Geodynamics, Plate tectonics, Mantle Dynamics

The West Iberian Margin (WIM) is a classic example of a hyper-extended magma-poor margin that achieved complete lithospheric breakup by the Aptian-Albian (Tucholke et al., 2007). However, the evolution of the margin records three discrete magmatic cycles (e.g., Mata et al., 2015): 1) The tholeiitic cycle associated with the Central Atlantic Magmatic Province and the onset of continental extension, 203-198 Ma; 2) The transitional cycle, related with the final rift stages, 148-140 Ma; and 3) The prolonged post-rift alkaline cycle, 90-69 Ma.

This last cycle is responsible for some of the most widespread evidence of magmatic bodies onshore Portugal, including the Sintra, Sines, and Monchique massifs, the Lisbon Volcanic Complex, along with other numerous sills and dykes (e.g., Foz da Fonte, Loulé) (Miranda et al., 2009) (Fig. 1). These features have been considered to have resulted from the interplay of a deep mantle source (hotspot-like?) ascending through a deep-rooted lithospheric fracture (Terrinha et al., 2017). Recently, new magmatic features located offshore the Portuguese margin unveiled new insights of complete plumbing systems, such as the Estremadura Spur Intrusion, the Fontanelas composite volcano and the Portimão magnetic anomaly (Neres et al., 2018; Pereira et al., 2021). This suggests that alternative explanations for the emplacement mechanism should be addressed.

This magmatic cycle on the WIM is part of the wider Late Cretaceous Alkaline Province, from which the Tore-Madeira Rise and the Canary Island Seamount Province have been considered affine (Grange et al., 2010).

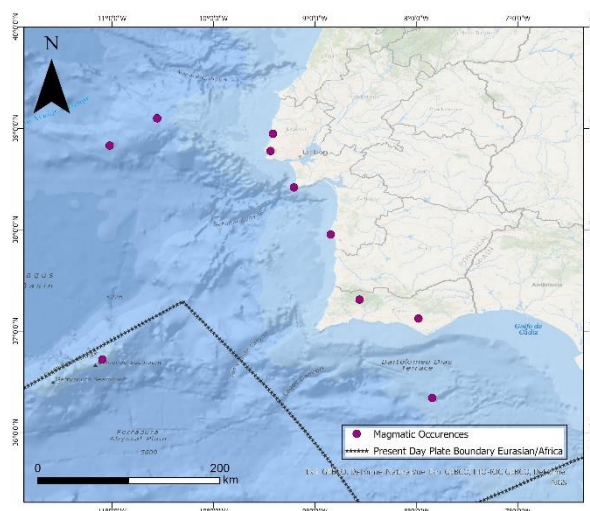


Fig. 1. Location of the study area, showing the distinct magmatic occurrences modelled in this work (in purple circles).

In this work, we evaluate the combined evidence of magmatism on the margin with the motion of the Iberian microplate, from the Late Cretaceous onwards to assess distinct models of mantle upwelling that can explain the different ages of emplacement, location, and nature. Using plate

reconstruction modelling software GPlates, three different mantle upwelling endmembers are evaluated: 1) A Hot-Spot, 2) A stationary Superplume with secondary emissions, plumelets, and 3) Edge-Driven Convection (Fig. 2).

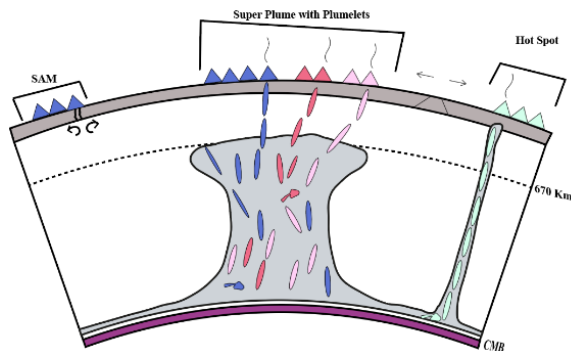


Fig. 2. Simplified sketch of the mantle sources (Adapted from Koppers, 2011).

In our model, the present-day and the paleo-geographic locations of the distinct WIM magmatic features are analyzed for their relative position through time, to evaluate the associated motion paths relative to a stationary mantle source. Additionally, the relationship of these WIM magmatic features is compared with those associated with the Late Cretaceous Atlantic Alkaline Province.

Preliminary results suggest that a deep stationary superplume (Civiero et al., 2021), emitting distinct secondary plumelets, is the preferred model for the distinct and diachronous magmatic features that pierced the crust, as the Iberian microplate moved along a non-linear path. It also indicates that geographically, it is possible that some plumelets may have sourced discrete magmatic occurrences, even in different tectonic plates.

References

- Civiero, C., Custódio, S., Neres, M., Schlaphorst, D., Mata, J., & Silveira, G. (2021). The role of the seismically slow Central-East Atlantic anomaly in the genesis of the Canary and Madeira volcanic provinces. *Geophysical Research Letters*, 48(13), e2021GL092874.
- Grange, M., Scharer, U., Merle, R., Girardeau, J., & Cornen, G. (2010). Plume-lithosphere interaction during migration of cretaceous alkaline magmatism in SW Portugal: Evidence from U-Pb Ages and Pb-Sr-Hf isotopes. *Journal of Petrology*, 51(5), 1143–1170. <https://doi.org/10.1093/petrology/egg018>
- Koppers, A. A. (2011). Mantle plumes persevere. *Nature Geoscience*, 4(12), 816–817.
- Mata, J., Alves, C. F., Martins, L., Miranda, R., Madeira, J., Pimentel, N., Martins, S., Azevedo, M. R., Youbi, N., de Min, A., Almeida, I. M., Bensalah, M. K., & Terrinha, P. (2015). 40Ar/39Ar ages and petrogenesis of the West Iberian Margin onshore magmatism at the Jurassic-Cretaceous transition: Geodynamic implications and assessment of open-system processes involving saline materials. *Lithos*, 236–237, 156–172. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.09.001>
- Miranda, R., Valadares, V., Terrinha, P., Mata, J., Azevedo, M. do R., Gaspar, M., Kullberg, J. C., & Ribeiro, C. (2009). Age constraints on the Late Cretaceous alkaline magmatism on the West Iberian Margin. *Cretaceous Research*, 30(3), 575–586. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2008.11.002>
- Neres, M., Terrinha, P., Custódio, S., Silva, S.M., Luis, J. & Miranda, J.M. (2018). Geophysical evidence for a magmatic intrusion in the ocean-continent transition of the SW Iberia margin. *Tectonophysics*, 744, 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.06.014>.
- Pereira, R., Rosas, F., Mata, J., Represas, P., Escada, C., & Silva, B. (2021). Interplay of tectonics and magmatism during post-rift inversion on the central West Iberian Margin (Estremadura Spur). *Basin Research*, 33(2), 1497–1519. <https://doi.org/10.1111/bre.12524>
- Terrinha, P., Pueyo, E.L., Aranguren, A., Kullberg, J.C., Kullberg, M.C., Casas-Sainz, A. & Azevedo, M.d.R. (2017). Gravimetric and magnetic fabric study of the Sintra Igneous complex: laccolith-plug emplacement in the Western Iberian passive margin. *International Journal of Earth Sciences*, 107, 1807–1833. 10.1007/s00531-017-1573-7.
- Tucholke, B. E., Sawyer, D. S., & Sibuet, J. C. (2007). Breakup of the Newfoundland-Iberia rift. *Geological Society Special Publication*, 282. <https://doi.org/10.1144/SP282.2>

Encaixante metassedimentar do granito de Regoufe: estrutura e metamorfismo térmico

Metasedimentary host rocks of Regoufe granite: structure and thermal metamorphism

B. L. Araújo (1*), C. Aires (1), M. A. Ribeiro (1,2), H. Sant'Ovaia (1,2) e C. Cruz (1,2)

(1) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal, *up201811447@edu.fc.up.pt

(2) Instituto de Ciências da Terra-Polo da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal

Summary: *In the Regoufe area, the predominant lithologies, that host the granite of Regoufe, are metasediments of the Beiras Group, mainly metapelites intercalated with more greywacoid levels. The variscan deformation induced a low-grade regional metamorphism. The stratification (S_0) is a well-marked primary structure and the most penetrative main foliation (S_1), is developed mainly in the more pelitic levels. Over this foliation, a crenulation lineation was also developed. Close to the granite of Regoufe, the thermal metamorphism is marked by an intense blastesis of cordierite porphyroblasts, exclusive to the pelitic levels. Inside the porphyroblasts, a slight crenulation of the internal foliation occurs, less tightly than the external crenulation, indicating that the blastesis was syn-kinematic with the crenulation generating phase.*

Key Words: *Variscan Orogeny, Beiras Group, metamorphism, foliation, cordierite*

Palavras-chave: Orogenia Varisca, Grupo das Beiras, metamorfismo, foliação, cordierite

1. Enquadramento Geológico e Estrutural

A região de Regoufe, pertence ao concelho de Arouca, no distrito de Aveiro. Insere-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI), parte constituinte do Maciço Ibérico, que corresponde ao segmento mais ocidental da Cadeia Varisca Europeia, sendo constituído por terrenos proterozóicos e paleozóicos. Estes terrenos foram afetados pela Orogenia Varisca, de caráter polifásico, e que atuou desde o Devónico Médio ao Carbonífero Superior. Na ZCI, correspondente ao terreno autóctone, são registadas de modo generalizado duas fases principais de deformação, atribuídas à 1ª e à 3ª fases regionais (Dias & Ribeiro, 1994).

A geologia da área é dominada pelo Grupo das Beiras, de idade neoproterozóica (600 a 540 Ma) (Lopez-Guijarro *et al.*, 2008) e pelo Complexo Intrusivo de Regoufe, constituído pelo granito de Regoufe (de idade 280 ± 9 Ma) e por corpos intrusivos, nomeadamente filões de quartzo e filões aplíticos. Com base nas Folhas 13-D e 14-C da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000, e no mapa elaborado por Vriend *et al.* (1985), foi realizada uma atualização da cartografia da região em estudo (Fig. 1A).

2. Resultados e Discussão

Este estudo focou-se na caracterização estrutural e petrográfica dos metassedimentos do Grupo das

Beiras, que constituem as rochas encaixantes do granito de Regoufe. As litologias presentes são sobretudo metapelitos intercalados com alguns níveis mais grauvacóides. O metamorfismo regional varisco registou condições de baixo grau, na fácies dos xistos verdes. Na proximidade do granito, o posterior metamorfismo térmico levou à formação de xistos mosqueados, sendo a associação mineralógica constituída por quartzo + moscovite \pm biotite \pm cordierite.

Macroscópica e microscopicamente, a estratificação S_0 é bem marcada (Fig. 1B e C). A foliação principal S_1 é a mais penetrativa particularmente nos níveis mais pelíticos e quase ausente nos níveis grauvacóides. Esta foliação é marcada pelo alinhamento das micas brancas e clorite e é geralmente subparalela à S_0 . S_0 e S_1 são dobrados por uma fase de deformação posterior, gerando dobras milimétricas a decimétricas de plano axial vertical e orientação N140°. Nesta fase, sobre S_1 , desenvolve-se uma crenulação, com incipiente clivagem associada de orientação N140°, exclusivamente nos níveis pelíticos (Fig 1C). Este dobramento está representado sobretudo junto ao contacto oriental do granito (Fig. 1A – Local #1).

Os efeitos do metamorfismo térmico são marcados pela blastese intensa de porfiroblastos de cordierite, exclusiva dos níveis pelíticos, e conferindo um aspeto

mosqueado a estas litologias. Esta blastese é intensa no bordo ocidental (Fig 1A – Local #2), mas não foi observada no bordo oriental. No interior dos porfiroblastos é evidente uma ligeira crenulação na foliação interna (S_1), menos apertada do que a crenulação externa envolvendo os porfiroblastos (Fig.

1D e E). A maior intensidade da crenulação envolvente, já com desenvolvimento de clivagem, e a preservação de uma foliação interna já crenulada ($S_1 = S_2$ crenulado) indica que esta blastese térmica foi sin-cinemática com a última fase de deformação.

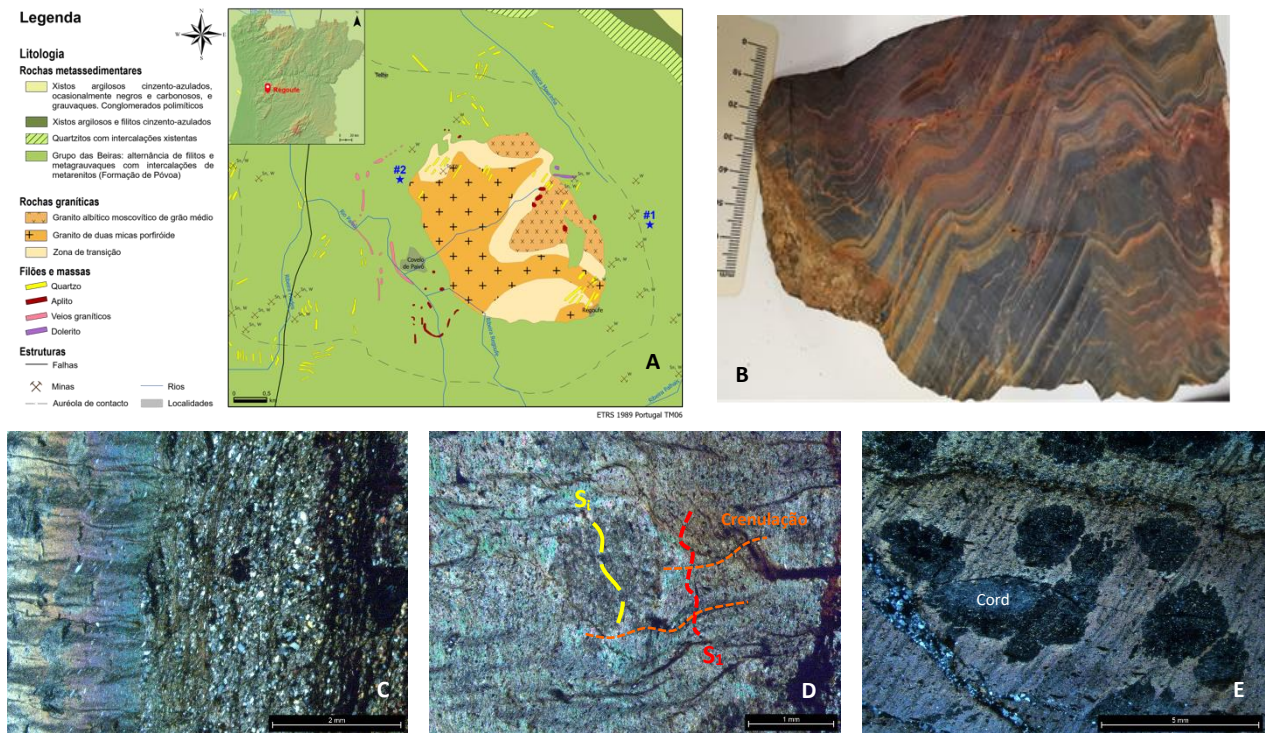


Fig 1 – A – Esboço geológico da área em estudo, com indicação dos dois locais de amostragem, #1 e #2; B – Amostra de mão recolhida no local #1 evidenciando dobramento afetando S_0/S_1 ; C – Microfotografia evidenciando a crenulação de S_1 , restrita aos níveis pelíticos; D e E – Microfotografias dos porfiroblastos de cordierite e respetiva microestrutura, obtidas a partir de uma amostra recolhida no local #2.

Referências

- Carta Geológica de Portugal. Carta de Oliveira de Azeméis (Folha 13-D) na escala 1:50 000. Direção Geral de Geologia e Minas, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa (1980).
- Carta Geológica de Portugal. Carta de Castro Daire (Folha 14-C) na escala 1:50 000. Direção Geral de Geologia e Minas, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa (1980).
- Dias, R. & Ribeiro, A., 1995. The Ibero-Armorican Arc: A collision effect against na irregular continent? *Tectonophysics*, 246, 113-128.
- López-Guijarro, R., Armendáriz, M., Quesada, C., Fernández-Suárez, J., Murphy, J.B., Pin, C. & Bellido, F., (2008). Ediacaran–Palaeozoic tectonic evolution of the Ossa Morena and Central Iberian zones (SW Iberia) as revealed by Sm–Nd isotope systematics. *Tectonophysics* 461, 202–214.
- Vriend, S. P.; Oosterom, M. G.; Bussink, R. W. & Jansen, J. V. H. (1985). Trace element behaviour in the W-Sn granite of Regoufe, Portugal. *Journ. Geochem. Expl.* 23: 13-25.

Feeding zones and emplacement constraints of the Castelo Branco pluton: gravimetric modelling contribution

Zona de alimentação e instalação do plutão de Castelo Branco: contribuição da modelação gravimétrica

C. Cruz (1), F. Noronha (1) and H. Sant’Ovaia (1)

(1) Instituto de Ciências da Terra-Polo da Universidade do Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, , Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal, claudiacruz@fc.up.pt, fmnoronh@fc.up.pt, hsantov@fc.up.pt

Sumário: O plutão de Castelo Branco, localizado na Zona Centro-Ibérica, caracteriza-se por ser um plutão compósito, constituído por 6 fácies graníticas. Este plutão, de idade 310 ± 1 Ma, intrui metassedimentos do “Complexo Xisto-Grauváquico” e do Ordovícico-Devónico, estando estes últimos intensamente dobrados, em sinclinais e monoclinais, estruturas D_1 , com uma orientação predominante NW-SE. Este trabalho tem como objetivo identificar a zona de alimentação do plutão e suas raízes, assim como definir a geometria de instalação tendo em conta a interpretação das anomalias gravimétricas de Bouguer e residual. Da análise do mapa da anomalia residual é possível concluir que: (i) a zona de alimentação do plutão tem uma orientação preferencial NW-SE, paralela à orientação das estruturas D_1 , e (ii) o plutão deverá ter duas raízes principais, uma junto ao bordo NW e outra na zona central do plutão, sendo isto evidenciado pela presença de duas anomalias negativas mais pronunciadas nesses locais.

Palavras-chave: gravimetria, zona de alimentação, zonas de raiz, modelo de instalação, granitos Variscos

Key words: gravimetric survey, feeding zone, root zones, emplacement model, Variscan granites.

The Castelo Branco pluton outcrops in the Central Iberian Zone and has an area of ca. 390 km². The pluton consists of Variscan peraluminous S-type granites, and is a composite pluton composed of 6 facies: (i) Alcains, a fine-grained muscovite > biotite granite, that forms the pluton’s core; (ii) Moinhos, a medium-grained porphyritic biotite > muscovite granite; (iii) S. Miguel de Acha (or Castelo Branco), a coarse-grained porphyritic biotite > muscovite with cordierite granite, defined the external zone of the pluton; (iv) Soalheira, a coarse-grained porphyritic muscovite > biotite granite with sulphides; v) Castelo Novo, a medium-grained two mica granite in small outcrop between Soalheira and S. Miguel de Acha granites, and (vi) Póvoa da Palhaça, a muscovite rich and fine- to medium-grained granite in the N of the pluton (Meireles, 2020) (Fig. 1A). Antunes (2006) and Antunes et al. (2008), in previous works, identified different facies in Castelo Branco pluton, which are not always identical to the cartographic contours defined on Sheet 4 at scale 1: 200 000 (Meireles, 2020).

The intrusion of the Castelo Branco pluton caused, in the west along its contact, a north-south contact aureole, of hornfels and spotted schists. The Castelo Branco pluton is crosscut by quartz and basic rocks veins, with an NE-SW direction. The Castelo Branco pluton, based on field relations with the host rocks

(Meireles, 2020) and available ID-TIMS U–Pb ages for zircon and monazite of 310 ± 1 Ma (Antunes et al., 2008), is considered a late to post- D_3 granite. The host rocks consist of metasediments from the “Complexo Xisto-Grauváquico” (Beiras Group) and Ordovician-Devonic metasediments, that are folded as a result of phase D_1 of Variscan deformation. These folds are NW-SE oriented, with subhorizontal axes and vertical axial planes, and occur in the form of synclines (e.g. Vila Velha do Rodão) or monoclines (e.g. Castelo Branco monocline) (Romão et al., 2013). This study aims to infer the location of the pluton feeding zone and disclose its emplacement model. Moreover, a contribution to the knowledge about the emplacement model of late-orogenic Variscan granites was given, improving previous studies carried out by Cruz et al. (2021).

To investigate the subsurface shape of this pluton, data from National Gravity Network was used (Direção-Geral do Território, 2022), where 266 stations are within the study area. The Bouguer anomaly values were interpolated through kriging with the *Oasis Montaj 8.3.3* software. Then, the Regional, and Residual anomalies were calculated and interpreted.

The Bouguer anomaly in the studied area ranges between -51.17 mGal and 8.64 mGal, with a mean value of -16.68 mGal. The negative anomalies are

usually spatial associated with the presence of granites, whereas positive values corresponded to the presence of metasediments. The regional anomaly was extracted using the 1st, 2nd, and 3rd order polynomial surfaces. The obtained regional anomaly maps display a mainly NE-SW trend, increasing from NE to SW. The regional and residual anomaly maps obtained through a 1st order polynomial surface are the ones that best combine the surface of the Bouguer anomaly with the known geology. The selection of the residual map obtained by a 1st order polynomial surface was based on the line-zero of the residual anomaly is the one that best fits the pluton contours, in special at the west of the actual outcrops.

According to the residual anomaly map (Fig. 1B), some assumptions can be made: (i) two circular zones with values lower than -32 mGal are visible at NW, and in the core of the pluton, suggesting the presence of two root zones; (ii) these two negative anomalies are NW-SE aligned showing that the feeder area takes advantage of D₁ in-depth crustal anisotropies; (iii) finally the central negative anomaly extends to the east of the actual outcrops of the pluton, showing the gravimetric signature of the Ordovician Oledo pluton, in continuity with the Castelo Branco pluton. The NW-SE structural trend was also found in previous Anisotropy of Magnetic Susceptibility fabric studies (Sant’Ovaia et al., 2008). Apparently both feeder zones allowed the ascending of the magmas that formed the different facies present in the Castelo Branco pluton, however further studies are needed.

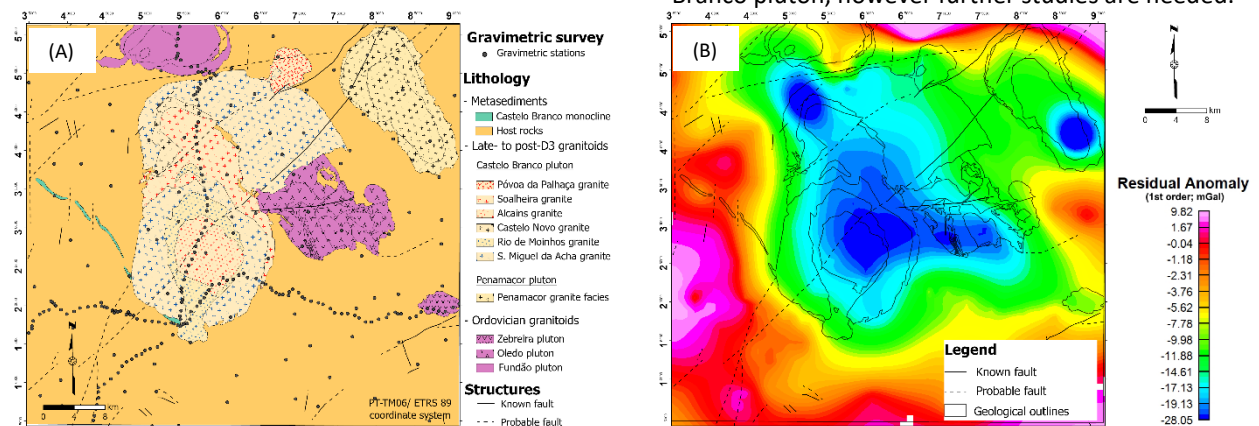


Fig. 1. (A) Simplified geological map of the Castelo Branco pluton with the location of the gravimetric stations; (B) Residual anomaly map (obtained applying a 1st polynomial surface).

Acknowledgments: C. Cruz is a contracted researcher under the UIDP/04683/2020 project. This work is supported by national funding awarded by FCT - Foundation for Science and Technology, I.P., projects UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020.

References

- Antunes, I.M.H.R. (2006). Mineralogia, Geoquímica e Petrologia de rochas granitoides da área de Castelo Branco-Idanha-a-Nova. Unpublished PhD thesis. University of Coimbra, Portugal.
- Antunes, I.M.H.R., Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G., Corfu, F. (2008). Geochemistry of S-type granitic rocks from the reversely zoned Castelo Branco pluton (central Portugal). *Lithos*, 103, 445-465, <https://doi:10.1016/j.lithos.2007.10.003>.
- Cruz, C., Sant’Ovaia, H., Raposo, M.I.B., Lourenço, J.M., Almeida, F. and Noronha, F. (2021). Unraveling the emplacement history of a Portuguese post-tectonic Variscan pluton using magnetic fabric and gravimetry. *Journal of Structural Geology*, 153, 104470, <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2021.104470>.
- Direção-Geral do Território 2022. Rede Nacional de Gravimetria: <https://snig.dgterritorio.gov.pt/rndg/srv/por/catalog.search#/search?ansnig=gravimetria&fast=index>.
- Meireles, C.A.P. (Coord.) (2020). Folha 4 da Carta Geológica de Portugal, à escala 1/200 000. 1ª Edição, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa. ISSN: 978-989-675-080-0.
- Romão, J., Metodiev, D., Dias, R., Ribeiro, A. (2013). Evolução geodinâmica dos sectores meridionais da Zona Centro-Ibérica. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (eds.). *Geologia de Portugal*, vol. 1, Escolar Editora, 206-25
- Sant’Ovaia, H., Santos, C.R., Rocha, A.L., (2008). Parâmetros magnéticos das rochas do Complexo Granítico de Castelo Branco, Portugal Central. In: P.M. Callapez, R. Bordalo da Rocha, J. Fonseca Marques, L. Sobral da Cunha e P. Morgado Dinis (eds.). *A Terra: Conflitos e Ordem. Colóquio de homenagem ao Professor António Ferreira Soares*, 265-272.

Detrital zircon geochronology of the Lower Karoo Group in the N'Condédzi Basin, Mozambique

Geocronologia de zircões detríticos do Grupo do Karoo Inferior da Bacia de N'Condédzi, Moçambique

P. Fernandes (1), R.C.G.S. Jorge (2), L. Albardeiro (3), D. Chew (4), F. Drakou (4),

Z. Pereira (2) and J. Marques (5)

(1) CIMA, Centre of Marine and Environmental Research\ARNET - Infrastructure Network in Aquatic Research, University of Algarve, Campus de Gambelas, 8000-139 Faro, Portugal, pfernandes@ualg.pt

(2) Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz, Campo Grande, Edifício C6, Piso 4, 1749-016, Lisboa, Portugal.

(3) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Rua da Amieira, Apartado 1089, 4466-901, S. Mamede de Infesta, Portugal.

(4) Department of Geology Trinity College Dublin, Museum Building, Dublin 2, Ireland.

(5) Gondwana Empreendimentos e Consultorias, Limitada, Rua 1.335, Bairro da COOP, Maputo, Moçambique.

Sumário: A Bacia de N'Condédzi, pertence ao conjunto de bacias sedimentares moçambicanas do Ciclo Karoo. O preenchimento sedimentar consiste numa sequência detrítica, com ca. 2000 m de espessura, depositada em ambientes lacustres e aluvionares. Com a finalidade de conhecer a proveniência dos terrenos fonte das rochas detríticas, foram estudadas para geocronologia U-Pb, as populações de zircões detríticos de arenitos interceptados em três sondagens. Independentemente, da idade dos arenitos (Lopingiano – Triásico Superior), a população dominante de zircões detríticos está no intervalo 1140 – 920 Ma com pico aos ca. 1035 Ma, sugerindo uma constância temporal das áreas fonte, restritas a terrenos formados durante a consolidação do Supercontinente Rodínia (1400 – 1000 Ma). Todavia, e apenas nos arenitos do Triásico Inferior, ocorre uma segunda população de zircões com idades U-Pb entre os 670 – 490 Ma, com picos aos 618 e 525 Ma., sugerindo o envolvimento transitório de terrenos associados ao Ciclo Pan-Africano.

Palavras-chave: geocronologia de zircões detríticos, Karoo, estudos de proveniência, Moçambique, Bacia de N'Condédzi

Keywords: detrital zircon geochronology, Karoo, provenance, Mozambique, N'Condédzi Basin

The N'Condédzi Basin is one of the several Karoo depocenters located along the Zambezi River valley in the Province of Tete, in central west Mozambique. The development of the N'Condédzi Basin is related to the brittle reactivation of high-strain shear zones of the Zambezi Belt, formed during the Pan-African Orogeny (650–500 Ma). Its northern boundary corresponds to the Mwanza Fault, a brittle structure formed by the reactivation of the Sanângoè Shear Zone during the early(?) Permian and related to the initial tectonic phases of this sub-basin development. The Mwanza Fault is a prominent geomorphologic feature at the northern boundary of this sub-basin, separating the granites and gneisses of the Mesoproterozoic Furuncungo Suite and the flat region of the hanging-wall fault block that corresponds to the Karoo sedimentary rocks. In the southern margin of this sub-basin, Karoo sedimentary rocks rest either unconformably over the Mesoproterozoic gabbros-anorthosites of the Tete

Suite or are faulted against the later rocks. The stratigraphic succession of the N'Condédzi Basin is better known in the subsoil due to boreholes drilled for coal exploration. Galasso et al. (2019) describe the Karoo stratigraphic units, their lithologies and the ages of the N'Condédzi Basin.

The preliminary results presented in this abstract are based on three coal exploration boreholes described by Galasso et al. (2019) for palynology. The stratigraphic sequences of the three boreholes form a composite succession spanning the time interval between the Lopingian (upper Permian) and the Carnian (Upper Triassic). Borehole A1TM-058 attained a total depth of 1000 m: at its base are the basement rocks of the Mesoproterozoic Tete Suite, which are unconformably overlain by a thick lacustrine to alluvial succession consisting of clast-supported conglomerates, siltstones, sandstones, black carbonaceous mudstones, and coal seams beds. Several dolerite sills intruded into the borehole

sequence. A Lopingian age was assigned to the entire sequence of this borehole. Five sandstone from different depths were sampled and analysed for U-Pb zircon detrital geochronology. Borehole CIMT-014 has a total depth of 500 m, and the Permo-Triassic boundary was tentatively identified at ca. 484.5 m depth. From the Permo-Triassic boundary upwards, the core of the borehole consists of variegated mudstones, conglomerates, and red sandstones deposited in alluvial environments. Palynomorphs dated this part of the sequence as Lower Triassic to Upper Triassic (Carnian). No Middle Triassic palynomorphs were identified, likely due to a hiatus caused by a tectonic event during the Middle Permian. Eight sandstone samples were analysed for zircon detrital geochronology, one from the Lopingian, five from the Lower Triassic, and two from the Upper Triassic. Lastly, borehole A1TM-039 is a ca. 550 m thick alluvial sequence composed of variegated mudstones, red sandstones, and conglomerates, in which mudstones at the base yielded palynomorphs of Upper Triassic age. Two sandstone samples from this borehole were analysed for detrital zircon geochronology.

The results are discussed according to the stratigraphic position of the sandstone samples analysed. Hence, the six samples of Lopingian-age sandstones are dominated by U–Pb detrital zircon ages within a 1068–986 Ma age range with a peak at 1035 Ma. A subpopulation of U–Pb zircon ages occurs within a 950–840 Ma interval without a distinctive age peak. The Lower Triassic detrital zircons from borehole CIMT-014 show two well-defined sub-populations. One is very similar to the detrital zircons found in the sandstones of the Lopingian age and is within the interval 1140–920 Ma, with a peak at 1032 Ma. The second population shows a broad spectrum of ages within the interval 670–490 Ma, with two discrete age peaks at 618 and 525 Ma. The four

sandstone samples of the Upper Triassic analysed are dominated by detrital zircon ages within a 1076–992 Ma age range with a peak at 1035 Ma. There are no other distinctive detrital zircon sub-populations in the Upper Triassic age sandstones, although the youngest detrital zircons are within the 750–640 Ma age range. The results of the detrital zircons indicate source terrains dominated by Mesoproterozoic rocks. Geologic units of this age outcrop extensively in the region and are represented by terrains formed during the Rodinia supercontinent assemblage (1400–1000 Ma). These terrains are represented in Tete Province and the northern provinces of Niassa, Cabo Delgado, Zambézia and Nampula. Most Mesoproterozoic terrains are overprinted by metamorphism and plutonism of Neoproterozoic age with a dominance of Pan-African ages, which could be the source terrains for the presence of detrital zircons of that age interval in the sandstones of Lower Triassic age. However, the Pan-African detrital zircon population is only found in sandstones in the Lower Triassic and is regarded as a unique feature of the sandstones of the Lower Triassic. The presence of the Pan-African population is probably related to tectonic events at the Permo-Triassic boundary and in the Lower Triassic that exposed source terrains in the catchment areas with Pan-African signatures that were buried before that time interval. However, during the Upper Triassic, the detrital zircon population indicates that source terrains with a Pan-African signature were no longer exposed. A probable link to other geological processes, rather than tectonism, related to the global environmental crisis associated with the Permo-Triassic limit is also currently being investigated as a likely hypothesis for the presence of the Pan-African detrital zircon population in the Lower Triassic sedimentary rocks of the N'Condédzi Basin.

Acknowledgements: This work was supported by the project PALEOCLIMOZ (PTDC/CTA-GEO/30082/ 2017), funded by Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal. The authors would like to acknowledge the financial support of FCT to the projects: LA/P/0069/2020, awarded to the Associate Laboratory ARNET; UID/00350/2020, awarded to CIMA of the University of the Algarve and I.P./MCTES through national funds (PIDDAC) – UIDB/50019/2020. The authors would like to thank Coal India Africana, and Gondwana Empreendimentos e Consultorias, Limitada, for borehole access and complementary information. P. Fernandes also wishes to thank all the Gondwana staff from the Tete office whose help over the last few years has been invaluable for this work.

References

Galasso, F., Pereira, Z., Fernandes, P., Spina, A., Marques, J. (2019). First record of Permo-Triassic palynomorphs of the N'Condédzi sub-basin, Moatize-Minjova Coal Basin, Karoo Supergroup, Mozambique. *Revue de Micropaléontologie*, 64, 100357.

Cartografia estrutural da região de Viana do Alentejo – Alvito; organização tectono-estratigráfica do SW da Zona de Ossa-Morena

Structural mapping of the Viana do Alentejo – Alvito region; tectono-stratigraphic architecture of the SW of Ossa-Morena Zone

N. Moreira (1), A. Araújo (2), J. Pedro (2) e J. Roseiro (2)

(1) Instituto de Investigação e Formação Avançada - Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra (ICT) - Polo de Évora; nafm@uevora.pt

(2) Dep. de Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, ICT – Polo de Évora

Summary: *The structural features of the SW border of the Ossa-Morena Zone is highly controlled by subduction-collision processes related with last stages of the Variscan Cycle. Structural mapping of Viana do Alentejo – Alvito region allows the characterization of several tectono-stratigraphic units with discrepant tectono-metamorphic evolution, including relative autochthonous and allochthonous units, all of them detached by tangential 1st order shear zones.*

Key words: *Variscan Cycle, tectono-stratigraphic units, Ossa-Morena Zone, structural mapping, Viana do Alentejo-Alvito region*

Palavras-chave: Ciclo Varisco, Unidades tectono-estratigráficas, Zona de Ossa-Morena, cartografia estrutural, região de Viana do Alentejo-Alvito

O Ciclo Varisco é controlado pela evolução do Oceano Rheic e outras pequenas bacias oceânicas (Ribeiro et al., 2010). O processo de *rifting* do bordo norte da Gondwana, durante o Câmbrico, origina uma sucessão estratigráfica com características próprias na Zona de Ossa Morena (ZOM), isto é, no bordo SW do Terreno Ibérico (coordenadas atuais). Com efeito, a estratigrafia do Câmbrico é caracterizada por uma extensa plataforma carbonatada depositada sobre um conglomerado de base lenticular, ao qual se associam rochas vulcânicas félsicas, que assentam em discordância sobre a sucessão Neoproterozóica (Série Negra). Acima da sucessão carbonatada, desenvolve-se uma sucessão detrítica com abundantes rochas vulcânicas bimodais de natureza toleítica a alcalina (Sánchez-García et al., 2019), pontualmente originando corpos plutónicos ou subvulcânicos.

O processo de *rifting* intracontinental culminou com a abertura do Oceano Rheic na transição Câmbrico-Ordovício (ca. 480 Ma; Pedro et al., 2013), iniciando-se a fase de deriva (*drift*), o que gera uma sucessão com características estratigráficas e geoquímicas típicas de margem passiva (Robardet & Gutierrez-Marco, 2004; Roseiro et al., 2020), características essas que se mantêm até ao Devónico Inferior, altura em que se iniciam os processos de subducção-colisão que persistiram até ao Carbónico.

Nos domínios meridionais da ZOM, nomeadamente na região de Viana do Alentejo – Alvito, trabalhos de cartografia estrutural recentes revisitaram a

organização estratigráfica da região (Rosas et al., 2008). A sucessão geral, altamente deformada e apresentando regimes metamórficos emparelhados, revela claras semelhanças com a sequência típica da transição Neoproterozóico-Câmbrico (embora não existam dados bioestratigráficos ou geocronológicos), proposta por Oliveira et al. (1991), sendo possível identificar: (1) uma sucessão siliciclástica composta por micaxistos biotíticos e metagrauauques, com metabasaltos e metaliditos subordinados - Série Negra; (2) um complexo vulcano-sedimentar dominado por rochas vulcânicas e sub-vulcânicas félsicas; (3) uma espessa sucessão de mármore, por vezes com intercalações de rochas vulcânicas máficas; e (4) um complexo vulcano-sedimentar bimodal, com prevalência de rochas máficas.

Contudo, os processos de subducção-colisão, ocorridos entre o Devónico Médio e o Carbónico no bordo sul da ZOM, geraram uma estruturação complexa, com imbricação dos complexos parautóctone e “alóctones” sobre os domínios autóctones da ZOM. Apresenta-se assim uma proposta de arranjo tectonoestratigráfico para o domínio SW da ZOM, definindo-se 3 unidades tectono-estratigráficas principais separadas por zonas de cisalhamento tangenciais de primeira ordem:

(1) Autóctone relativo: Esta unidade de alta temperatura (HT), localizada a oeste, descreve um antifforma N-S (Antiforma de Viana – Alvito). O seu núcleo é composto por um ortognaisse de natureza

subvulcânica ou plutónica (Gnaiss de Alfanges) e milonitos félsicos com fabric S-L bem marcado. Sobre esta unidade aflora, em ambos os flancos do antiforma, uma sucessão carbonatada com mármore dolomíticos e calcíticos (por vezes com olivina). A complexidade das dobras de 2ª ordem gera dobras menores onde afloram as sucessões típicas da Série Negra e dos complexos vulcano-sedimentares câmbricos.

(2) Parautóctone com metamorfismo de alta pressão: Esta unidade é caracterizada por sucessões imbricadas com afinidades com as sucessões do Neoproterozóico e Câmbrico da ZOM, incluindo rochas vulcânicas máficas que expressam uma paragénese metamórfica de alta pressão (HP) (Pedro et al., 2013). Aqui distinguem-se duas sucessões tectono-estratigráficas imbricadas distintas: (A) uma sucessão composta principalmente por micaxistos com semelhanças à Série Negra, com abundantes rochas vulcânicas máficas e félsicas, sobre a qual assenta (B) uma unidade composta principalmente

por sucessões com semelhanças às unidades stratigráficas câmbricas, incluindo as unidades vulcano-sedimentares e mármore contendo rochas máficas ostentando metamorfismo de HP.

(3) Alóctone relativo: Esta unidade é composta por um complexo imbricado contendo rochas com afinidades distintas. A base da sucessão é composta por rochas vulcânicas máficas na fácies dos xistos verdes. Embora a sua natureza não seja clara, identificam-se rochas que revelam uma arquitetura interna e assinatura geoquímica compatível com sucessões ofiolíticas em três setores - Vila Ruiva, Oriola e Antas (Pedro et al., 2013). A topo, desenvolve-se um complexo imbricado composto maioritariamente por filonitos altamente deformados na fácies dos xistos verdes (Complexo Filonítico de Cubito-Moura), frequentemente com rochas vulcânicas félsicas e máficas imbricadas (Araújo et al., 2005). Esta unidade inclui lentes de xistos negros e lilitos com graptólitos de idade Silúrica (Fm. Negrita), possivelmente com afinidades às sequências da ZOM.

Agradecimentos: Este trabalho é apoiado pelo financiamento concedido ao ICT pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., projetos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Araújo, A., Fonseca, P., Munhá, J., Moita, P., Pedro, J. & Ribeiro, A. (2005). The Moura Phyllonitic Complex: an accretionary complex related with obduction in the Southern Iberia Variscan Suture. *Geodinamica Acta*, 18(5), 375-388.
- Oliveira, J.T., Oliveira, V. & Piçarra, J.M. (1991). Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa-Morena. *Cad Lab Xeol Laxe* 16:221-250.
- Pedro, J., Araújo, A., Fonseca, P., Munhá, J., Ribeiro, A. & Mateus, A. (2013). Cinturas ofiolíticas e metamorfismo de alta pressão no bordo SW da Zona de Ossa-Morena. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (eds), *Geologia de Portugal*, vol. 1, Escolar Editora, 647-671.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Fonseca, P.E., Araújo, A., Pedro, J., Mateus, A., Tassinari, C., Machado, G. & Jesus, A. (2010). Variscan ophiolite belts in the Ossa-Morena Zone (Southwest Iberia): Geological characterization and geodynamic significance. *Gondwana Res* 17:408-421.
- Robardet, M. & Gutiérrez-Marco, J.C. (2004). The Ordovician, Silurian and Devonian sedimentary rocks of the Ossa-Morena Zone (SW Iberian Peninsula, Spain). *J. Iber Geol*, 30: 73-92.
- Rosas, F. M., Marques, F. O., Balleve, M. & Tassinari, C. (2008). Geodynamic evolution of the SW Variscides: Orogenic collapse shown by new tectonometamorphic and isotopic data from western Ossa-Morena Zone, SW Iberia. *Tectonics*, 27(6).
- Roseiro, J., Moreira, N., Nogueira, P., Maia, M., Araújo, A. & Pedro, J. (2020). Depositional environment and passive-to-active margin transition as recorded by trace elements chemistry of lower-middle Palaeozoic detrital units from the Ossa-Morena Zone (SW Iberia), *Comunicações Geológicas*, 107(special volume II), 39-46.
- Sánchez-García, T., Chichorro, M., Solá, A.R., Álvaro, J.J., Díez-Montes, A., Bellido, F., Ribeiro, M.L., Quesada, C., Lopes, J.C., Dias da Silva, Í., González-Clavijo, E., Gómez Barreiro, J. & López-Carmona, A. (2019). The Cambrian-Early Ordovician Rift Stage in the Gondwanan Units of the Iberian Massif. In: C. Quesada, J.T. Oliveira (eds.), *The Geology of Iberia: a geodynamic approach*, vol.2: *The Variscan Cycle*. Springer, Regional Geology Series, 27-74.

Aplicação da análise Fry a ocorrências de Cu (-Fe) da Faixa Metalogénica Sousel-Barrancos: primeira aproximação

Application of Fry analysis to Sousel-Barrancos Metallogenic Belt Cu (-Fe) occurrences: first approach

N. Moreira (1), R. Dias (2), J. Roseiro (2), P. Nogueira (2), M. Maia (2) e A. Araújo (2)

(1) Instituto de Investigação e Formação Avançada - Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra (ICT) - Polo de Évora; nafm@uevora.pt

(2) Dep. de Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, ICT – Polo de Évora

Summary: *The application of spatial point distribution analysis methods is widely used to find hidden orientations and internal organization of data. The application of these methods to mineralizations is recurrent since the beginning of the 20th century, namely applying the Fry classical method. This method is applied to the Cu (-Fe) occurrences of the Sousel-Barrancos Metallogenic Belt, and the first results are presented here. This analysis allows to identify the Variscan regional structure as one of the main conditioning factors for the installation of mineralized dykes. Although, with similar orientations, there are variations in the trend of structures both in the Alandroal and Barrancos mineralization clusters.*

Key words: *Fry method, spatial point analysis, Cu occurrences, Sousel Barrancos Metallogenic Belt, Variscan cycle*

Palavras-chave: Método de Fry, análise espacial de pontos, ocorrências de Cu, Faixa Metalogénica Sousel-Barrancos, Ciclo Varisco

A Faixa Metalogénica Sousel Barrancos (equivalente da *South Central Metallogenic Belt*, Espanha; Tornos et al., 2004) inclui um conjunto de ocorrências de Cu (-Fe), muitas delas exploradas durante os séculos XIX e XX (e.g. Aparis; Bugalho, Cabeza de Hierro, Miguel Vacas, Minancos, Mociços, Mostardeira, Novillero) (Oliveira, 1986; Mateus et al., 2003; 2013; Tornos et al., 2004; Maia et al., 2020). A esmagadora maioria das ocorrências desta faixa metalogénica é de carácter filoniano, embora se reconheçam ocorrências estratiformes e disseminadas (Oliveira, 1986). Estas mineralizações encontram-se maioritariamente hospedadas nas sucessões silúrico-devónicas do sector Estremoz-Barrancos (Oliveira et al., 1991), embora algumas mineralizações se encontrem na sucessão câmbrico-ordovícica.

Os filões de quartzo e carbonatos são polifásicos e apresentam mineralização primária composta, predominantemente, por pirite + calcopirite ± arsenopirite (Mateus et al., 2003; 2013), sendo que superficialmente se observam geralmente apenas óxidos e hidróxidos de ferro (no *gossan*), por vezes acompanhados de minerais secundários de cobre (e.g. malaquite) em resultado dos processos de alteração e enriquecimento supergénicos. Estes filões são controlados estruturalmente, descrevendo-se nesta faixa metalogénica filões subverticais com orientações variáveis (N-S a NNW-SSE, NE-SW, E-W),

controlados por falhas com uma componente de desligamento dominante (Mateus et al., 2003; 2013; Moreira et al., 2017; Maia et al., 2020).

A análise espacial preliminar mostra uma organização em dois grandes núcleos de mineralizações: um a noroeste, na região compreendida entre Estremoz-Alandroal-Cheles (*cluster* do Alandroal) e outra a sudeste, na região de Barrancos-Encinasola (*cluster* de Barrancos).

De forma a analisar a distribuição espacial dos pontos referentes às mineralizações desta faixa metalogénica aplicou-se o método clássico de Fry usando o procedimento adaptado de Hanna & Fry (1979) aplicado a estudos similares ao que aqui se expõe (e.g. Vearncombe & Vearncombe, 1999; 2002). O método foi aplicado separadamente ao conjunto de ocorrências desta faixa metalogénica, bem como a cada um dos *clusters* supramencionados. Com a aplicação do método em causa pretende-se entender qual a orientação das principais estruturas que condicionaram a ascensão e instalação dos fluidos responsáveis pela génese dos filões mineralizados, que têm sido interpretados como sendo resultantes de um mesmo processo mineralizante, pese embora os diferentes modelos propostos (e.g. Oliveira, 1986; Mateus et al., 2013; Maia et al., 2020).

O conjunto de dados revelam um alongamento da

nuvem de pontos segundo uma orientação NW-SE (Fig. 1). Contudo, a análise da nuvem de pontos faz denotar outras orientações significativas (Fig. 1): N60°W, N30°W (o mais significativo), N15°E e N70°E.

No que respeita à análise da nuvem de pontos em cada um dos *clusters*: (1) O *cluster* do Alandroal denota uma orientação geral da nuvem de pontos de direção N40°W, com alinhamentos internos coincidentes com as seguintes orientações: N30°W, N-S, N15°E (menos evidente e mais espaçado), N70°E e E-W; (2) O *cluster* de Barrancos apresenta uma nuvem de pontos com orientação geral N60°W, com tendências internas de orientação NW-SE (a mais significativa), N05°W e N80°E.

As orientações gerais das nuvens de pontos, bem como de algumas das orientações internas mencionadas parecem mostrar a importância da estruturação varisca regional (cisalhamentos e foliação), de orientação NW-SE (Araújo et al., 2013), na génese destas estruturas mineralizadas. O facto de algumas orientações evidenciadas em ambos os *clusters* não serem coincidentes parece mostrar que algumas das estruturas que condicionam a instalação dos filões mineralizados em ambos os sectores são

distintas, pese embora existam orientações coincidentes (N60-70°E e N-S).

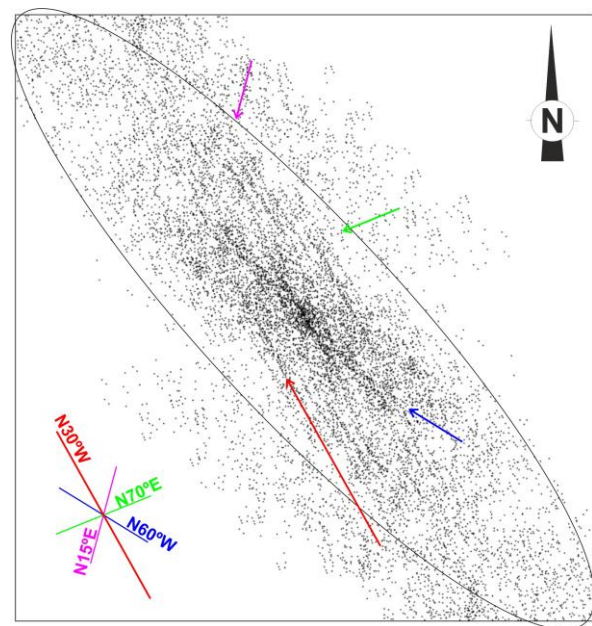


Fig. 1 – Nuvem de pontos resultante da aplicação do método de Fry ao conjunto de mineralizações da Faixa Metalogénica Sousel Barrancos.

Agradecimentos: Este trabalho é apoiado pelo financiamento concedido ao ICT pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., projetos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Araújo, A., Piçarra de Almeida, J., Borrego, J. Pedro, J. & Oliveira, T., 2013. As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (eds.). Geologia de Portugal, Volume I - Geologia Pré-mesozóica de Portugal, Escolar Editora, 509-549.
- Hanna, S.S. & Fry, N. (1979). A comparison of methods of strain determination in rocks from southwest Dyfed (Pembrokeshire) and adjacent areas. *Journal of Structural Geology*, 1, 155-162.
- Maia, M., Moreira, N., Vicente, S., Mirão, J., Noronha, F. & Nogueira, P. (2020). Multi-Stage Fluid System Responsible for Ore Deposition in the Ossa-Morena Zone (Portugal): Constraints in Cu-Ore Deposits Formation. *Geology of Ore Deposits*, Volume 62, No. 6, 508-534. <https://doi.org/10.1134/S1075701520060094>.
- Mateus, A., Matos, J. X., Rosa, C. & Oliveira, V. (2003). Cu-ores in quartz-carbonate veins at Estremoz-Alandroal and Barrancos-Sto Aleixo regions (Ossa-Morena Zone): a result of Late-Variscan hydrothermal activity. VI Congresso Nacional de Geologia, Lisboa (Portugal), Ciências da Terra (UNL), Lisboa, F90-F93.
- Mateus, A., Munhá, J., Inverno, C., Matos, J., Martins, L., Oliveira, D., Jesus, A. & Salgueiro, R. (2013). Mineralizações no sector português da Zona de Ossa-Morena. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (eds.). Geologia de Portugal, Volume I - Geologia Pré-mesozóica de Portugal, Escolar Editora, 577-615.
- Moreira, N., Vicente, S., Maia, M., Nogueira, P. & Araújo, A. (2017). Controlo estrutural de mineralizações de Cobre na Mina dos Mociços (Zona de Ossa-Morena); dados preliminares. In: Moreira, N., Silva, V., Paiva, A. (eds.), Livro de actas do VII Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2017, Estremoz, 45-48.
- Oliveira, J.T., Oliveira, V. & Piçarra, J.M. (1991). Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa-Morena. *Cadernos do Laboratório Xeológico de Laxe*, 16: 221-250.
- Oliveira, V. (1986). Prospecção de Minérios Metálicos a Sul do Tejo. *Geociências*, 1-2, 15-22.
- Tornos, F., Inverno, C. M. C., Casquet, C., Mateus, A., Ortiz, G. & Oliveira, V. (2004). The metallogenic evolution of the Ossa-Morena Zone. *Journal of Iberian Geology*, 30, 143-181.
- Vearncombe J.R. & Vearncombe, S. (1999). The Spatial Distribution of Mineralization Applications of Fry Analysis. *Economic Geology*, 94, 475-486.
- Vearncomb, S. & Vearncomb, J.R. (2002). Tectonic controls on kimberlite location, Southern Africa. *Journal of Structural Geology*, 24, 1619-1625.

Deformação tectónica no bordo ocidental da bacia de Rio Maior – a falha do Cidral

Tectonic deformation on the Rio Maior basin western margin – the Cidral fault

R. Ressurreição (1), R.P. Dias (1), J. Cabral (2) e G. Charifo (3)

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Alfragide, Portugal, ricardo.ressurreicao@Ineg.pt

(2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz, Lisboa, Portugal

(3) Sifucel S.A., GoldFluvium, Rio Maior, Portugal

Summary: *The Rio Maior basin is a NNW-SSE elongated tectonic basin, controlled by main faults with the same orientation. The basin was filled with sediments during the Pliocene, over Miocene deposits. Borehole data show a depocenter located near its eastern margin with the Pliocene sediments forming a dissymmetrical synform controlled by the NNW-SSE Cidral border fault. The sedimentation culminates in Pleistocene conglomeratic sandstones, apparently not deformed. During recent field work in a sand exploration quarry located in the SE extremity of the basin, a N-S fault affecting the Miocene and Pliocene was identified along ca. 400 m. Striated slickensides in the Miocene deposits indicate a predominant normal dip-slip component. This was interpreted as a prolongation or major ramification of the Cidral fault. Considering the proximity of extruded Jurassic evaporitic sediments at Fonte da Bica diapir, the extensional deformation in the Rio Maior area during the Pliocene is probably related with tectonic diapirism.*

Key words: *Rio Maior basin, Pliocene, tectonics, diapirism*

Palavras-chave: *bacia de Rio Maior, Pliocénico, tectónica, diapirismo*

Introdução. Enquadramento geológico

No bordo ocidental do troço intermédio da bacia do Baixo Tejo, junto ao Maciço Calcário Estremenho, situa-se a bacia de Rio Maior. Esta corresponde a uma bacia tectónica alongada segundo uma direcção geral NNW-SSE, com cerca de 7,5 km de comprimento e 3 km de largura, limitada por falhas com a mesma orientação, de onde se destaca a falha do seu bordo NE - a falha do Cidral, e por falhas secundárias transversais, de orientação NNE-SSW (Carvalho e Pereira 1973; Cabral, 1995).

A bacia é limitada a E, S e W por sedimentos miocénicos das formações de Alcoentre e Almoester e a NW e NE por rochas do Mesozóico e Paleogénico. Na área de Fonte da Bica, a cerca de 500 m a NW do bordo NW da bacia, aflora o diapiro de Rio Maior-Porto de Mós. A cartografia geológica mostra que os sedimentos paleogénicos apresentam a mesma estrutura que os sedimentos mesozóicos, com basculamento para SE, sugerindo deformação regional pós-Paleogénico essencialmente anterior à deposição dos sedimentos miocénicos que ocorrem na área. Esta deformação deverá corresponder a importante fase de inversão tectónica da bacia Lusitânica e soerguimento do Maciço Calcário Estremenho.

Dados de superfície e sondagens (Carvalho e Pereira, 1973) indicam que sobre os sedimentos miocénicos

depositaram-se três conjuntos sedimentares (da base para o topo): areias brancas caulínicas; complexo de lenhites e diatomitos; arenitos argilosos conglomeráticos, com clastos subrolados de quartzo e quartzito. Cunha *et al* (1993) atribuem estes depósitos à unidade alostratigráfica SLD 13 (Zancleano final – Gelasiano). Interpretam as areias brancas do conjunto sedimentar inferior como tendo sido depositadas em ambiente litoral, relacionadas com o episódio transgressivo que caracteriza a base da SLD 13, reconhecido em vários sectores litorais de Portugal. Estudos palinológicos (e.g. Flores, 1996) atribuem ao complexo de lenhites e diatomitos uma deposição em meio lacustre durante o Placenciano. A disposição dos níveis sedimentares no interior da bacia, evidenciada pelas sondagens (Carvalho e Pereira, 1973), mostra uma bacia assimétrica, com o seu depocentro deslocado para NE, onde as areias brancas atingem uma espessura de 120 m e o complexo de lenhites e diatomitos cerca de 130 m. Estes sedimentos dispõem-se nesta área segundo uma estrutura em sinforma assimétrico de eixo NNW-SSE, com o flanco NE mais inclinado e cortado pela falha do Cidral. A sedimentação pliocénica terá sido sintectónica. O conjunto sedimentar superior areno-conglomerático trunca a estrutura referida através de uma superfície de erosão, não se encontrando

aparentemente afectado pela deformação (Cabral, 1995).

Dados

Trabalhos de campo realizados no âmbito da preparação para publicação da Folha 5 da Carta Geológica de Portugal na escala 1/200.000 propiciaram a observação em afloramento de deformações tectónicas na bacia de Rio Maior. A exploração da mina Via Vai, pela empresa Sifucel S.A., permitiu a observação da falha do bordo oriental da bacia, de forma contínua ao longo de 400 m de extensão, 1 km a SSE da localidade de Azinheira. Trata-se de uma falha de cinemática predominantemente normal entre as areias pliocénicas (a W) e sedimentos miocénicos da formação de Almoester, areno-argilosos com níveis carbonosos intercalados calchificados, (a E). Neste local, o limite da bacia tem direcção NNW-SSE a N-S, inflectindo para NNE-SSW, um pouco a S. A superfície de falha foi medida em três locais, tendo-se obtido as atitudes (N32°E, 67°NW), (N22°W, 74°W) e (N14°W, 73°W).

Junto à falha principal, no bloco elevado, existe uma zona de deformação com planos estriados a afectar os sedimentos miocénicos. Ao longo de um plano com atitude (N10°W, 69°W, estrias com *pitch* 82°S) ocorre uma injeção de sedimento carbonoso contendo gastrópodes continentais, pertencente à própria unidade. As camadas estão basculadas, com inclinações que variam de 12° a 30° para NNW a NNE. O deslocamento vertical produzido pela falha não é evidente. Localizada a 350 m para W, uma sondagem atravessou 75 m de areias pliocénicas sem atingir o Miocénico. A 800 m para W, este foi interceptado próximo dos 120 m de profundidade. No entanto, considerando que parte da deformação foi acomodada por dobramento, o abatimento devido a deslocamento em falha será menor. Cabral (1995) estimou uma separação vertical máxima da ordem dos 50 m a afectar a base do complexo de lenhites e diatomitos.

Referências

- Cabral, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. Mem. Inst. Geol. Mineiro, Lisboa, 31.
- Carvalho, A.M.G. & Pereira, V.B. (1973). Areias brancas de Rio Maior, aspectos geológicos – económicos. Est. Notas e Trab. S. F. M. 22, (1-2), 5-83.
- Cunha, P.P., Barbosa, B.P. & Pena dos Reis, R. (1993). Synthesis of the Piacenzian onshore record, between the Aveiro and Setúbal parallels (Western Portuguese margin). Ciências da Terra (Univ. Nova de Lisboa) 12, 35-43.
- D'Amato, D., Pace, B., Cabral, J., & Figueiredo, P.M. (2009). The Vale de Santarém Neogene trough in the seismotectonics framework of the Lower Tagus Valley (Portugal). Trabajos De Geología, 29, 200-205.
- Flores, D. (1996). Estudo petrológico e geoquímico dos carvões da Bacia de Rio Maior. PhD Thesis, Univ. Porto, Porto, Portugal.

Neste estudo interpreta-se que a falha identificada corresponde ao prolongamento para S da falha do Cidral, acompanhando todo o bordo oriental da bacia, não coincidindo com o traçado provável proposto em trabalhos anteriores. Não se exclui a hipótese de corresponder a uma ramificação da mesma. Admite-se ainda que esta estrutura é interceptada a S por uma falha de direcção NNE-SSW, já interpretada por Carvalho e Pereira (1973), que controla o limite SE da bacia pliocénica.

Conclusões

As novas observações contribuíram para melhorar o conhecimento do traçado cartográfico da falha do Cidral. As medições efectuadas indicam um plano de falha inclinado cerca de 70°W com comportamento normal próximo de *dip-slip*. A maior subsidência na bacia junto a esta estrutura sugere que a falha do Cidral terá sido a principal estrutura de acomodação da deformação. Integra-se num sistema de falhas regionais orientadas NW-SE reconhecidas na Bacia do Baixo Tejo com actividade pliocénica, nomeadamente em Vale de Santarém (D'Amato *et al* 2009). Sendo a orientação destas falhas próxima da orientação da compressão máxima horizontal estimada durante o Pliocénico (NW-SE), ter-se-ão gerado em falha normal por permuta de tensões principais, acomodando uma distensão ortogonal (~NE-SW). A deformação distensiva localizada nesta área estará relacionada com o diapiro da Fonte da Bica, como sugere Flores (1996). A localização da bacia imediatamente a SE da extrusão diapírica e a existência de deformações de génese diapírica afectando sedimentos pliocénicos na região (área de Óbidos-Caldas da Rainha) reforçam a intervenção do diapirismo. A actividade diapírica promovida pela compressão regional desencadeou migração de evaporitos para NW gerando espaço de acomodação em profundidade na área da bacia pliocénica e conseqüente subsidência acomodada por dobramento dos sedimentos e por falhas normais enraizadas no nível salífero. A falha do Cidral, estrutura principal pré-existente, terá acomodado grande parte da deformação.

Caracterização preliminar da deformação dos ortognaisses alcalinos e hiperalcalinos da Faixa Blastomilonítica (Zona de Ossa-Morena)

Preliminary characterization of the deformation of the alkaline and peralkaline orthogneisses from the Blastomylonitic Belt (Ossa-Morena Zone)

J. Roseiro (1), N. Moreira (2), P. Nogueira (1) e D. de Oliveira (3)

(1) Dep. de Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, ICT – Polo de Évora (ze.roseiro45@gmail.com)

(2) Instituto de Investigação e Formação Avançada - Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra (ICT) - Polo de Évora

(3) Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Unidade de Recursos Minerais e Geofísica

Summary: *In the Blastomylonitic Belt (northernmost Ossa-Morena Zone), alkaline and peralkaline orthogneisses are found as elongated bodies with WNW-ESE to NW-SE orientation hosted within a strongly deformed Neoproterozoic to Lower Cambrian metasedimentary strata. Despite some similarities between them (ascribed to the very similar nature of their igneous protolith) the deformational features displayed in all of them are different, for example in the mineral segregation and recrystallization (including the development of augens) observed, and in different strike-dip orientation of foliations and lineation plunge. The dissimilarities are presumably due not only from different primary features, but also to the type of ductile shearing and metamorphic conditions they underwent. This way, field data will be complemented with petrographic studies for mineralogical and microdeformation characterization, and crossed to the regional structural information, thus constraining the deformation patterns of the alkaline-peralkaline orthogneisses on the Blastomylonitic Belt.*

Key words: *Blastomylonitic Belt, Alkaline Orthogneisses, Peralkaline Orthogneisses, Deformation, Ossa-Morena Zone*

Palavras-chave: Faixa Blastomilonítica, Ortognaisses Alcalinos, Ortognaisses Hiperalcalinos, Deformação, Zona de Ossa-Morena

A Faixa Blastomilonítica (FB; Oliveira et al., 1991) corresponde ao sector tectono-estratigráfico setentrional da Zona de Ossa-Morena (ZOM) e situa-se entre a Zona de Cisalhamento Portalegre-Esperança (Zona Centro Ibérica) e o Sector de Alter do Chão – Elvas. Este sector é caracterizado por uma sucessão litológica de unidades metassedimentares com idades compreendidas entre o Neoproterozoico e o Câmbrico inferior, intersectadas por corpos magmáticos instalados em diferentes etapas orogénicas (Oliveira et al., 1991; Silva & Pereira, 2004). A estrutura da FB é definida por duas megaestruturas sujeitas a diferentes condições metamórficas: Megaestrutura Crato - Arronches - Campo Maior a norte e a Megaestrutura de Assumar (a sul) (Pereira, 1999; Silva & Pereira, 2004), ainda subdivididas em unidades tectonometamórficas (Pereira & Silva, 2006).

A presença de corpos magmáticos alcalinos e hiperalcalinos, com cerca de 480 Ma, altamente tectonizados (geralmente com fabric S-L bem marcado, por vezes apresentando fabric S ou L) é comum nos diferentes segmentos da FB, em particular na região de Assumar, Arronches e Ouguela

(e.g. Pereira, 1999; Díez Fernandez et al., 2014; Carrilho Lopes, 2020). Daqui destacam-se os ortognaisses de Assumar (1), do alinhamento Arronches – Fialha – Vidigão (2), Figueira de Cima (3) e Cevadais-Ouguela (4):

(1) O ortognaisse de Assumar localiza-se no limite entre as unidades do Neoproterozoico e do Câmbrico inferior da Megaestrutura de Assumar. É um milonito de composição granítica com tonalidade rosada e apresenta tendência ocelada, com uma foliação subvertical (72° SW - 90°) com orientação geral N330°, e uma lineação de estiramento suavemente mergulhante para o quadrante SE (Xn = 25°, N140°) com critérios cinemáticos esquerdos, ilustrando assim a componente cavalgante.

(2) Na região de Arronches há vários locais onde ortognaisses meso- a leucocratas, de composição sienítica, afloram como corpos alongados segundo direções WNW-ESE a NW-SE (paralelos à estruturação regional), intersectando diferentes unidades da Megaestrutura do Crato-Arronches-Campo Maior. Estas rochas encontram-se no alinhamento Arronches - Fialha até Vidigão, e são caracterizadas pela alternância do bandado leucocrata a mesocrata com

alguma variação no desenvolvimento de ocelos (que por vezes atingem dimensões centimétricas). Em Arronches existem pelo menos três corpos de granularidade média a fina e pouco desenvolvimento de ocelos. Os milonitos apresentam um fabric S-L que se desenvolve segundo uma orientação N300-310°, paralelamente à foliação que é muito inclinada a subvertical (78° - 90°), desenvolvendo uma lineação de estiramento $X_n = 25^\circ$, N125°. Na Fialha (a sudoeste de Arronches) o fabric milonítico mantém-se e o carácter ocelado aumenta, com a presença de mega porfiroclastos de feldspatos e ocelos máficos tipo “amêndoa”. A atitude da foliação varia bastante (N300° a N330°, com inclinação 50°S a subvertical) e a lineação de estiramento mergulha gentilmente para SE (10°, N130°), ostentando critérios cinemáticos esquerdos. Junto aos metassedimentos encaixantes, a rocha mostra textura de cataclasito, constituído essencialmente de cristais de feldspatos fraturados, muito angulosos e dispostos em mosaico. Para SE, os afloramentos de ortognaisses hiperalkalinos são mais escassos, representados essencialmente pelas rochas de Vidigão. São ultramilonitos mesocratas com ocelos máficos, caracterizados por um fabric S bem marcado de orientação N340°, 75° W (Sn).

(3) Nos domínios a norte de Arronches ocorre o ortognaisse de Figueira de Cima, um milonito mesocrata de composição sienítica, alongado segundo a orientação WNW-ESE, desenvolvendo textura ocelada, com porfiroclastos centimétricos de minerais máficos. A foliação (Sn média = N325°, 60°-75° S) e a lineação de estiramento ($X_n = 15^\circ$, N146°) são bem marcadas e apresentam critérios cinemáticos esquerdos. Na periferia ocorrem rochas

com textura tipo pórfiro, de matriz subvulcânica escura e fenocristais deformados, desenvolvendo uma foliação com geometria similar aos ortognaisses anteriormente descritos (N310°-320°, 64° – 78° S).

(4) Na região de Ouguela, o ortognaisse de Cevadais-Ouguela encontra-se alongado NW-SE e é composto por duas fácies de composição sienítica: leucocrata com granularidade variável de muito fina a muito grosseira e meso- a melanocrata de granularidade média-fina. Desenvolve geralmente um fabric S-L bem marcado, com a foliação de orientação N295° - N330°, e inclinações muito variáveis de 40° N a subvertical. A textura da foliação por vezes alterna de um fabric S-L bem marcado (tipo “zebra”), para fabrics L(-S) (tipo “leopardo”). A lineação de estiramento também varia ao longo do gnaisse, desde subhorizontal (5°, N315°) no centro, até lineações suavemente inclinadas no bordo NW do maciço (25°, N305°)

Em suma, os ortognaisses presentes na Faixa Blastomilonítica apresentam características de deformação ligeiramente diferentes, não obstante a semelhança da natureza dos protólitos e o facto de terem sido submetidos a deformação e recristalização dinâmica durante os eventos tectono-metamórficos incidentes. Estes dados, complementados com estudos petrográficos, mineralógicos e de microdeformação serão cruzados com a informação estrutural e termobarométrica já definida para as duas mega estruturas (e.g. Pereira, 1999) de modo a compreender os padrões de deformação nas rochas alcalinas e hiperalkalinas do NE Alentejano.

Agradecimentos: J. Roseiro agradece o financiamento pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., através da bolsa de doutoramento de referência UI/BD/150937/2021, e à SEG (Society of Economic Geology) através do Hugh McKinstry Fund. Os autores agradecem ainda o apoio concedido ao ICT pela FCT (projetos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020).

Referências

- Carrilho Lopes, J. (2020). Magmatismo Intrusivo no Ciclo Varisco. Universidade de Évora.
- Díez Fernández, R., Pereira, M.F. & Foster, D.A. (2014). Peralkaline and alkaline magmatism of the Ossa-Morena zone (SW Iberia): Age, source, and implications for the Paleozoic evolution of Gondwanan lithosphere. *Lithosphere*. 7 (1), 73–90.
- Oliveira, J.T., Oliveira, V. & Piçarra, J.M. (1991). Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa-Morena. *Cad Lab Xeol Laxe*, 16, 221-250.
- Pereira, M.F. (1999). Caracterização da estrutura dos domínios setentrionais da Zona de Ossa-Morena e seu limite com a Zona Centro-Ibérica, no Nordeste Alentejano. Tese de doutoramento (não publicada). Universidade de Évora.
- Pereira, M.F. & Silva, J.B. (2006). Nordeste Alentejano. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (2006) *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, 145-150.
- Silva, J.B. & Pereira, M.F. (2004). Transcurrent continental tectonics model for the Ossa-Morena Zone Neoproterozoic–Paleozoic evolution, SW Iberian Massif, Portugal. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*. 93, 886–896.

Intraorogenic Variscan structures; gravity induced extension or syntectonic stretching processes

Estruturas variscas intraorogénicas; o resultado de processos extensionais induzidos pela gravidade ou pelo estiramento sintectónico

A. Ribeiro (1), R. Dias (2) and C. Coke (3)

(1) Centro de Geologia da Universidade de Lisboa (UL), Dep. Geologia da Faculdade de Ciências da UL, Museu Nacional de História Natural e da Ciência (UL); aribeiro@fc.ul.pt

(2) Dep. de Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora; ICT – Polo de Évora; Centro Ciência Viva de Estremoz

(3) Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Sumário: Os processos orogénicos podem levar à formação de estruturas compressivas e extensionais. A coexistência destas estruturas tem sido explicada por dois modelos dinâmicos diferentes. Um enfatiza a alternância de episódios de compressão, causando espessamento litosférico, com extensão na superfície devido ao colapso induzido pelo potencial de gravidade. O outro, que preferimos, privilegia uma abordagem regional integrada, onde as estruturas são interpretadas no contexto do Arco Ibero-Armoricano. O primeiro modelo enfrenta o paradoxo da extensão à superfície, durante o espessamento litosférico persistente num regime global convergente. O modelo alternativo considera que o regime orogénico devido à convergência dos blocos estáveis das margens opostas do orógeno é não estacionário. Nas fases de aceleração geram-se dobras longitudinais e zonas de cisalhamento de desligamento subparalelas, enquanto nas fases de desaceleração são produzidas dobras antitéticas nos flancos das dobras maiores e zonas de cisalhamento extensivas nas suas terminações periclinais.

Palavras-chave: Cadeia Varisca, extensão intraorogénica, processos gravíticos, estiramento sintectónico, Arco Ibero-Armoricano

Key words: Variscan orogeny, intraorogenic extension, gravitic processes, syntectonic stretching, Ibero-Armorican Arc

In orogenic belts compressive and extensional structures are produced during orogenic processes. Two main schools of thoughts have proposed different dynamic models for the origin of these structures.

One of the schools emphasize the alternance of episodes of compression, causing lithospheric thickening, with extension at surface due to collapse induced by gravity potential. The dominant vergence of the compression structures causes unidirectional collapse in the form of metamorphic core complexes modelled by examples in the Western Cordillera margin of the North Armorican shield during the Meso-Cenozoic.

The other school, that we prefer, favours an integrated regional approach, where the structures are interpreted in the context of the Ibero-Armorican Arc. The arc is considered a heterogeneous progressive arcuation by a Cantabrian indenter (synthesis in Dias *et al.*, 2016). In the outer arc, the stretching is parallel to the **b** kinematic axis ($X \equiv b_{kin}$), while in the inner arc the stretching is parallel to the

a kinematic axis ($X \equiv a_{kin}$). In the inner arc, thin-skinned longitudinal and radial thrusts and folds are produced in an overall constriction regime (Julivert & Arboleya, 1984). In the outer arc longitudinal folds and subparallel strike-slip shear zones are produced in a constrictive transpressive regime by strain partitioning in an overall convergent orogenic regime (Dias, *et al.*, /2022). In the opposing branch of the Ibero-Armorican Arc the stretching in the **b** kinematic axis is produced by lateral expulsion of the material in front of the arc.

In the Iberian branch the transpression is sinistral (Ribeiro *et al.*, 1990) whereas in the Armorican branch it is dextral (Le Corre *et al.*, 1991). In the apex of the arc, stretching in the **b** kinematic axis produces a regional depression of the fold axes, while if the stretching was parallel do the **a** kinematic axes, a culmination by upward expulsion of material should be produced. The field data is therefore consistent with the kinematic model proposed for the Ibero-Armorican Arc by progressive arcuation as opposed

to an entirely secondary arcuation of the orocline type.

The dynamic evolution of the orogen is in marked contrast in each model. The first school of thought face the paradox of generation extension at the surface, during persistent lithospheric thickening in an overall convergent regime. In the second model, the dynamic evolution of the orogen led to a completely different interpretation. We propose that the persistent orogenic regime, due to convergence of the stable blocks of the opposed margins of the orogen, is characteristically non steady state. The physics behind the orogenic process could then be approached by a dynamic *jerk model* (VonBayer, 1998; Carroll, 2022). This model produces two contrasting kinematic regimes (Simpson & De Paor, 1993; fig. 1):

- The acceleration waxing phase produces longitudinal folds and subparallel strike-slip shear zones;
- The desacceleration waning phase produces mesoscopic longitudinal antithetic folds with subhorizontal axes in the flanks of macroscopic antiforms and extensional shear zones in

periantiform terminations of longitudinal macroscopic folds (Dias *et al.*, 2022).

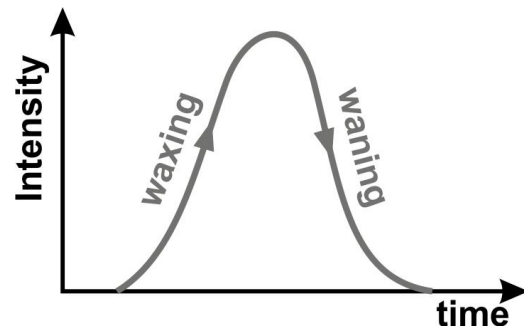


Fig. 1. Main kinematic regimes in orogenic processes as a function of the variation of the strain intensity versus time.

The dynamic explanation supporting the kinematic regime consists in the inversion of the shortening forces due to convergence relative to gravity potential due to lithospheric thickening, before and after the peak of the *jerk* process separating the early waxing phase for the late waning one. A test of this model should be approached by a reappraisal of the kinematic regime in the Armorican branch of the Ibero-Armorican Arc.

Acknowledgements: This work was the financial support from the FCT/IP/MCTES to ICT (UIDB/GEO/04683/2019) and IDL (UIDB/50019/2020).

References

- Carroll, A (2022). The biggest ideas in the Universe: space, time and motion, One World, 296 p.
- Dias, R., Coke, C. & Ribeiro, A., (2022). Strain partitioning in the Variscan deformation of the Marão domain (Central Iberian zone; northern Portugal). *Jour. Struct. Geol.*, 161, 104635. doi:10.1016/j.jsg.2022.104635
- Dias, R., Ribeiro, A., Romão, J., Coke, C. & Moreira N. (2016). Reviewing the arcuate structures in the Iberian variscides; constraints and genetical models. *Tectonophysics*, 681 170-194. doi:10.1016/j.tecto.2016.04.011
- Julivert, M. & Arboleya, M-L. (1984). Curvature increase and structural evolution of the core (Cantabrian zone) of the Ibero-Armorican arc. *Sciences Géologiques Bulletin*, 37/1, 5-11. doi:10.3406/sgeol.1984.1647
- Le Corre, C., Auvray, B., Balleve, B. & Robardet, M. (1991) Le Massif Armoricaïn, *Sci. Géol. Bull.* 44/1-2, 31-103.
- Ribeiro, A., Dias, R. & Brandão Silva, J. (1995). Genesis of the Ibero-Armorican Arc. *Geod. Acta*, 8/2, 173-184.
- Simpson, C. & De Paor, D. (1993). Strain and kinematic analysis in general shear zones. *Journal of Structural Geology*, 15/1, 1-20. doi:10.1016/0191-8141(93)90075-L
- VonBaeyer, H. C. (1998). All shook up: The jerk, an old-fashioned tools of physics, find new applications in the theory chaos. *The Sciences*, 38, 12-14.

From the Wilson and supercontinent cycles to the typology of the associated orogens

Dos ciclos de Wilson e dos supercontinentes aos orógenos associados

A. Ribeiro (1), R. Dias (2), J. Duarte (3), E. Pereira (4), J. F. Rodrigues (4), J. Romão (4) and F. Rosas (3)

(1) Faculdade de Ciências da Univ. Lisboa, Museu Nacional de História Natural e da Ciência (UL), Instituto D. Luís (IDL); aribeiro@fc.ul.pt

(2) Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra (ICT), Centro Ciência Viva de Estremoz

(3) Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Instituto D. Luís (IDL)

(4) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG/LGM), Unidade de Geologia e Cartografia Geológica

Sumário: Os modelos geodinâmicos atuais suportam a presença de longos (≈ 500 Ma) ciclos de supercontinentes separados por ciclos de Wilson mais curtos (≈ 250 Ma). Os orógenos relacionados a esses dois tipos de ciclos são diversos: longos ciclos supercontinentais que terminam com a geração de orógenos do tipo Varisco, como o Panafricano (850-55 Ma) ou as Variscides (550-250 Ma); ciclos de Wilson curtos que terminam com orógenos alpinos, como as Caledonides (600-400 Ma) e o Alpino (iniciado há 250 Ma e ainda não terminado). É proposto que orógenos do tipo Varisco se geram associados a um domínio de superplumas, enquanto os orógenos do tipo Alpino se geram fora destes domínios.

Palavras-chave: ciclos de Wilson, ciclos dos Supercontinentes, orógenos do tipo Varisco, orógenos do tipo Alpino

Key words: Wilson cycles, Supercontinent cycles, Variscan type orogens, Alpine type orogens

Geodynamics models support the presence of long (≈ 500 Ma) supercontinent cycles separated by shorter (≈ 250 Ma) Wilson cycles. The orogens related to these two cycles are diverse:

- The long supercontinent cycles end by the generation of Variscan type orogens, as the Panafrican (850-55 Ma) or the Variscides (550-250 My).

- The short Wilson cycles end with Alpine orogens, like the Caledonides (600-400 Ma) and the Alpine (initiated at 250 Ma and not yet ended).

The tectonometamorphic regimes are also distinct for each type and, the essential control factor is the thermal blanketing of the tectosphere in cratons generated during supercontinent cycles (Don Anderson, 2001). The breaking up of the strong supercontinent requires the forcing of a long lasting

superplume of Tuzo type, while the global internal convective flow induces the generation of a suboceanic superplume of Jason type (Fig. 1; Torsvik et al., 2016).

This model explains the contrasting styles of the two types of orogens (Zwart, 1967). Indeed, the narrow Alpine type are produced by a Wilson cycle of fast spreading and closing oceans, in a high pressure to high ultrapressure tectonometamorphic regime outside the main superplume domain. On the other hand, the Variscan type orogens are wide due to Wilson cycles of narrow multiple slow spreading and closing ocean, in a high temperature tectonometamorphic regime (Brown, 2006) inside the superplume domain.

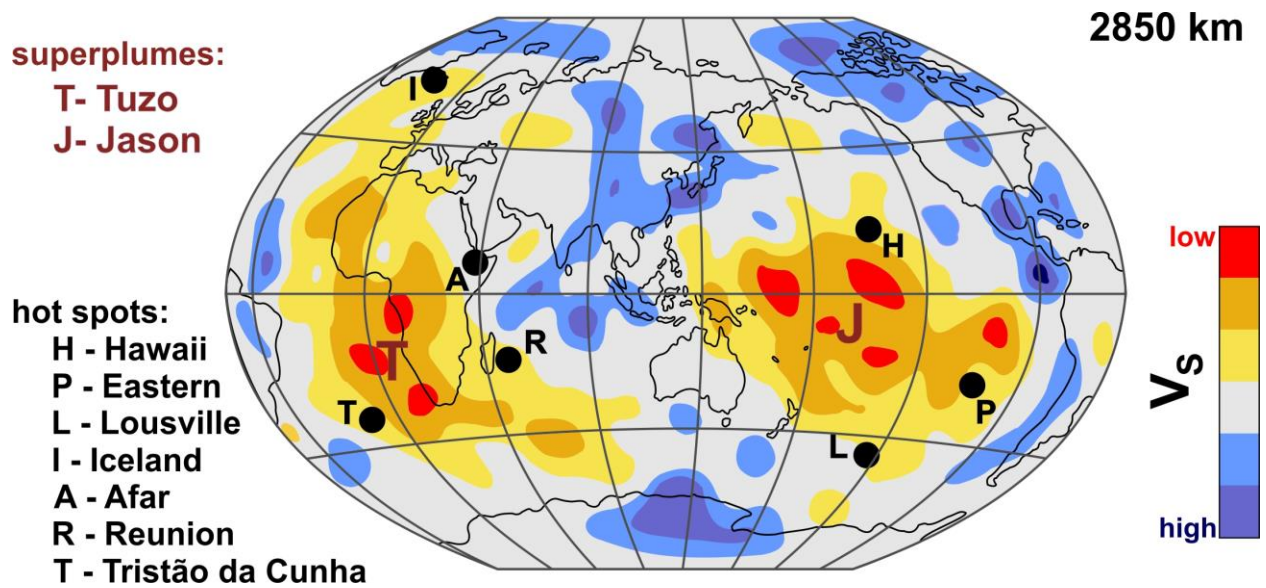


Fig. 1. Distribution of some major hotspots (black circles) superimposed on a 2850 km depth section of a tomographic model for shear wave velocity (V_s) for lower mantle depths (adapted from Courtillot et al., 2003), enhancing the location of the Tuzo and Jason superplumes.

Acknowledgements: This work was the financial support from the FCT/IP/MCTES to ICT (UIDB/GEO/04683/2019) and IDL (UIDB/50019/2020).

References

- Anderson, D. (2001). Top-Down Tectonics? *Science*, 293, 2116-2118.
- Brown, M. (2006). Duality of thermal regimes is the distinctive characteristic of plate tectonics since the Neoproterozoic. *Geology*, 34/11, 961–964; doi: 10.1130/G22853A.1.
- Courtillot, V., Davaille, A., Besse, J. & Stock, J. (2003). Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 205, 295-308.
- Torsvik, T., Steinberger, B., Ashwal, L. & Doubrovine, P. (2016). Earth Evolution and Dynamics – A tribute to Kevin Burke. *Canadian Journal of Earth Sciences* 53(11), DOI:10.1139/cjes-2015-0228.
- Zwart, H. (1967). The duality of orogenic belts. *Geologie en Mijnbouw*. 46/8, 283-309.

Transição Ordovícico-Silúrico na Zona Centro-Ibérica: apenas um contacto estratigráfico ou um elemento estruturante do Varisco Ibérico?

Ordovician-Silurian transition in the Central-Iberian Zone: just a stratigraphic boundary or a major element in the evolution of the Iberian Variscides?

V. Tereso (1), R. Dias (2), J. Romão (3), J. Roseiro (4), C. Coke (5), R. Fonseca (6) e A. Ribeiro (7)

- (1) Centro Ciência Viva de Estremoz; vtereso@estremoz.cienciaviva.pt
(2) Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra (ICT), Centro Ciência Viva de Estremoz
(3) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG/LGM), Unidade de Geologia e Cartografia Geológica
(4) Instituto de Ciências da Terra (ICT)
(5) Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
(6) Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, Laboratório Ambiterro, Instituto de Ciências da Terra (ICT)
(7) Faculdade de Ciências da Univ. Lisboa, Museu Nacional de História Natural e da Ciência (UL), Instituto D. Luís (IDL)

Summary: *Although the Ordovician-Silurian transition in the Central-Iberian Zone is usually considered a normal stratigraphic one, recent studies shows that often the black-shales of the Lower Silurian control the development of shear zones subparallel to the main layers. This behavior has been observed, not only in the Marão-Alvão region, but also in other sectors like, the synclines of S. Mamede, Mação and Buçaco. This seems to show that the Lower Silurian weak layers have been a major factor in controlling the evolution of the Iberian Variscides. Ongoing studies in the Celorico de Basto region will try to characterize and understand the evolution of these shear zones.*

Key words: *Central-Iberian Zone, Lower Silurian, shear zones, Iberian Variscides*

Palavras-chave: Zona Centro-Ibérica, Silúrico Inferior, zonas de cisalhamento, Varisco Ibérico

A transição Ordovícico-Silúrico na Zona Centro-Ibérica é usualmente considerada um contacto estratigráfico normal caracterizado, no geral, pela passagem de cerca 40-50m de seqüências de quartzitos cinzentos-escuros, muitas vezes com pirite, a xistos negros, grafíticos com fosfatos, por vezes, laminados, com abundante fauna, nomeadamente, graptólitos e alguns moluscos. A seqüência do Silúrico está condensada e apresenta a espessura de 30-35m. Em termos sequenciais, a transição referida efetua a passagem entre os ciclos estratigráficos completos (transgressão/condensação/regressão) do Ordovícico e do Silúrico, cuja duração é de cerca de 42 Ma e de 30 Ma, respetivamente (Romão, 2001)

Contudo a interpretação da cartografia na região de Celorico de Basto (Pereira, 1987), indica que, embora tenha sido considerado um contacto normal, na região de Campanhó os limites do topo do Ordovícico (formação de Pardelhas) truncam limites de unidades do Silúrico Inferior (formação de Campanhó), mostrando que na região de Marão - Alvão o contacto entre as unidades litostratigráficas destes períodos tem que ser tectónico. Levantamentos recentes para as cartas geológicas de Portugal na

escala de 1/200 000 (e.g. região de Portalegre na folha 6 - Ferreira & Piçarra, 2020 - e Buçaco na folha 3 - em curso) mostram que a passagem dos quartzitos cinzentos-escuros aos xistos grafíticos encontra-se truncada tectonicamente em muitos locais, nomeadamente nos sinclinais de S. Mamede, Mação e Buçaco:

No bordo sul do sinclinal da Serra de S. Mamede, o contacto dos quartzitos ordovícicos com xistos do Silúrico efetua-se através de um cavalgamento com expressão quilométrica (NW-SE) com transporte de material para NE.

No flanco SW do sinclinal do Buçaco, os xistos do Silúrico truncam várias unidades, desde a base do Ordovícico até ao seu topo através de acidente tectónico. Este mesmo acidente encontra-se no ramo NE do sinclinal, sendo responsável pelo transporte dos xistos do Silúrico sobre diabases e xistos diabásicos do Ordovícico Médio.

Isto sugere que as características litológicas do Silúrico Inferior da Zona Centro-Ibérica foram determinantes na evolução do Varisco ibérico. Esta é uma situação comum em diversos orógenos, onde a existência de seqüências dúcteis interestratificadas

funcionando como superfícies de descolamento durante o processo de encurtamento orogénico, tem vindo a ser defendida como um factor principal na evolução de algumas cadeias de montanha:

- Evolução da faixa de dobras e cavalgamentos da Zona Sul Portuguesa, descolada acima dos xistos do Silúrico (Ribeiro et al., 2007);
- Evolução das cadeias alpinas, condicionadas pelos evaporitos Triásico - Jurássicos (e.g. Ribeiro, 2013);
- Evolução das cadeias paleoproterozóicas condicionadas pelos espessos níveis de ardósias ricas em carbono e grafite a seguir à possível extinção em massa após o Grande Evento de Oxigenação (Parnell & Brolly, 2021).

No caso da região de Celorico de Basto estão em curso estudos de pormenor das zonas de cisalhamento desenvolvidas em níveis sedimentares ricos em matéria orgânica, não só à escala de afloramento, mas também através da caracterização petrográfica e geoquímica. Com efeito, a presença de matéria orgânica facilita a redução da fricção entre camadas sedimentares e a alteração das suas propriedades mecânicas, tornando-as susceptíveis à deformação (e.g. Morley et al., 2018). Neste sentido, a análise de microdeformação e geoquímica podem revelar-se ferramentas úteis para compreender o

comportamento deste tipo de rochas, providenciando informação relativa à deformação e metamorfismo, assim como da relação entre o incremento de matéria orgânica na zona de desligamento (e.g. Parnell & Brolly, 2021).

É de salientar que as sequências sedimentares silúricas são conhecidas pelo elevado conteúdo em matéria orgânica contrastando com outros períodos devido a um conjunto de condições ambientais e biológicas que ocorreram durante a sua deposição, como a elevada produtividade primária e as condições anóxicas em níveis oceânicos profundos (e.g. Trabucho-Alexandre *et al.*, 2012). Estas características são evidenciadas na Formação de Campanhó pela presença de lilitos ou xistos carbonosos/ampelitosos (normalmente com nódulos).

É nossa intenção que os dados que permitam identificar e quantificar a presença de matéria orgânica (ou derivados da sua recristalização) nos horizontes unidades metassedimentares da Formação de Campanhó vão ser cruzados com os dados estruturais de modo a fornecer um critério adicional para a caracterização do desligamento e da possível componente cavalgante.

Agradecimentos: Este trabalho é apoiado pelo financiamento concedido pela FCT/IP/MCTES ao ICT. (UIDB/GEO/04683/2019) e ao IDL (UIDB/50019/2020).

Referências

- Ferreira, P. & Piçarra, J. (2020, coord.). Folha 6 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000, 1ª edição, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa.
- Morley, C.K., Von Hagke, C., Hansberry, R., Collins, A., Kanitpanyacharoen, W. & King, R. (2018). Review of major shale-dominated detachment and thrust characteristics in the diagenetic zone: Part II, rock mechanics and microscopic scale. *Earth-Science Reviews*, 176, 19-50.
- Parnell, J. & Brolly, C. (2021). Increased biomass and carbon burial 2 billion years ago triggered mountain building. *Communications Earth & Environment* 2(1):238.
- Pereira, E. (1987). Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50 000 e notícia explicativa da Folha 10-A (Celorico de Basto), Serv. Geol, Portugal, Lisboa, 53 p.
- Ribeiro, A. (2013). Evolução geodinâmica de Portugal; uma introdução. In: R. Dias, R., A. Araújo, P. Terrinha & J.C. Kullberg (eds.), *Geologia de Portugal*, vol. 1, Escolar Editora, 11-14.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R. Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira, J., Romão, J., Chaminé, H., Coke & C., Pedro, J. (2007). Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. *Tectonics*, Art. Nº TC6009 Dec 14.
- Romão, J. (2001). O Paleozóico no bordo SW da Zona Centro-Ibérica. *Geonovas*, 15, 33-43.
- Trabucho-Alexandre, J., Hay, W.W. & De Boer, P.L. (2012). Phanerozoic environments of black shale deposition and the Wilson Cycle. *Solid Earth*, 3(1), 29-42.

SESSÃO CIENTÍFICA 8 (SC_8)
(Vulcanismo e Sismicidade)

Conveners: José Azevedo; Susana Custódio; Teresa Ferreira

Tephra fallout hazard assessment for a Sub-Plinian eruption scenario at Fogo volcano (São Miguel, Azores)

Avaliação do perigo de queda de cinzas para um cenário de erupção Sub-Pliniana no vulcão do Fogo (São Miguel, Açores)

S. Aguiar (1), J. Pacheco (1) and A. Pimentel (1,2)

(1) Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos da Universidade dos Açores (IVAR), Ponta Delgada, Portugal, simone.c.aguiar@azores.gov.pt

(2) Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), Ponta Delgada, Portugal

Sumário: O enquadramento geológico dos Açores torna esta região propícia à ocorrência de erupções vulcânicas explosivas. Uma futura erupção explosiva nos Açores poderá ter um impacto socioeconómico significativo e afetar o espaço aéreo do Atlântico Norte. Este estudo tem como objetivo avaliar a suscetibilidade à queda de cinzas resultantes de uma erupção explosiva no vulcão do Fogo (São Miguel). Para tal, foram realizadas simulações numéricas de deposição de cinzas considerando o cenário mais provável de uma futura erupção no Fogo, isto é, uma erupção Sub-Pliniana de VEI 4, semelhante à erupção histórica de 1563. Os resultados obtidos sugerem que a metade leste da ilha de São Miguel poderá ser afetada, sendo a freguesia das Furnas a localidade onde se espera uma maior deposição de cinzas (≥ 2 m de espessura). Este tipo de abordagem baseada na análise de cenários é fundamental à tomada de decisão por parte das entidades de proteção civil.

Palavras-chave: Açores, erupções explosivas, simulações numéricas, queda de cinzas, suscetibilidade

Key words: Azores, explosive eruptions, numerical simulations, tephra fallout, susceptibility

Explosive volcanic eruptions are one of the most powerful natural phenomena on Earth and can produce a series of volcanic hazards with the potential to cause severe socioeconomic and environmental impacts. Plinian and Sub-Plinian eruptions eject large amounts of volcanic particles (tephra) and gases into the atmosphere forming buoyant eruption columns, from which the erupted is transported by wind, sometimes for hundreds or thousands of kilometres, and deposited through gravitational fallout. However, in some cases, eruption columns can partially or completely lose buoyancy, collapse and generate pyroclastic density currents, which flow along the ground at high speeds (Cioni et al., 2015). Tephra fallout is the most frequent hazard associated with Plinian and Sub-Plinian eruptions and has the potential to affect vast areas, threatening human health, buildings, critical infrastructure, economic sectors, and the environment. This study aims at assessing tephra fallout susceptibility in case of an explosive eruption at Fogo volcano (São Miguel Island, Azores), following a scenario-based approach and considering an event similar to the Fogo 1563 AD Sub-Plinian eruption as the most probable scenario.

The Azores archipelago is located in the North Atlantic Ocean at the triple junction of the Eurasian,

Nubian and North American lithospheric plates. Due to its geodynamic setting, the Azores region is prone to frequent seismic and volcanic activity, in particular explosive volcanism associated with central volcanoes (Gaspar et al., 2015). São Miguel is the largest and most populated island of the archipelago where its inhabitants (>137,000) live side by side with active central volcanoes, Sete Cidades, Fogo (also known as Água de Pau) and Furnas.

Fogo volcano is the largest of the three active central volcanoes of São Miguel and occupies the central part of the island. Its recent period of activity (i.e., the last 5 kyr) was marked by five Sub-Plinian eruptions (Pisão, Fogo B, C, D, and the 1563 historical eruption) and a Plinian event (Fogo A) (Wallenstein, 1999). Despite having a lower eruptive frequency than the two other active central volcanoes of the island, Fogo is considered one of the most hazardous volcanoes of the Azores due to its location in the centre of São Miguel and the potential to produce large explosive eruptions, being the only to produce a Plinian event (Fogo A) in the last 5 kyr.

The Fogo 1563 Sub-Plinian eruption is well documented in historical records and its deposit has been studied by several authors over the years. Walker and Croasdale (1971) provided the first physical characterization of the deposit, followed by

Wallenstein (1999), and more recently Aguiar (2018) reconstructed in detail the eruption history and source parameters. The deposit is characterized by a sequence of coarse-grained and fine-grained pumice *lapilli* layers interbedded by fine ash layers, which were mostly dispersed to the eastern part of the island due to the predominant SW-blowing winds at the time of the eruption. The internal stratigraphy of the deposit suggests that the eruption started with a hydromagmatic phase and then was followed by the establishment of a Sub-Plinian eruption column up to 19 km high, which was mostly dominated by magmatic activity but with repeated hydromagmatic pulses.

From the volcanic hazard perspective, the Fogo 1563 eruption has been used as the most probable scenario for a future VEI 4 Sub-Plinian eruption at Fogo volcano (Medeiros et al., 2021). Here, we assess the potential impact of tephra fallout from a future Sub-Plinian eruption during summer and winter months, using eruption source parameters estimated by Aguiar (2018) for the Fogo 1563 eruption, considering (1) the total deposit and (2) the L2 pumice layer, the largest pulse of the eruption. Tephra fallout numerical simulations were performed with the advection-diffusion model of VORIS (Volcanic Risk Information System) version 2.0.1 (Felpeto et al., 2007). Based on the simulations results, it is evident that tephra fallout of a future

explosive eruption similar to Fogo 1563 Sub-Plinian event would predominantly affect the eastern part of São Miguel, due to the prevailing westerly winds in the Azores region. No major differences were observed when comparing summer and winter months, showing similar dispersion directions. The resulting tephra fallout susceptibility maps show that all municipalities of the eastern half of the island would be impacted in case of such an event. Nonetheless, Furnas parish is expected to be the most affected locality with deposit thicknesses up to 2 m.

Although the frequency of explosive eruptions in the Azores archipelago is relatively low, the possibility of future eruptions like the Fogo 1563 event should not be underestimated. A Sub-Plinian eruption with the characteristics of Fogo 1563 could have long-term socioeconomic consequences for the entire archipelago and affect the North Atlantic airspace. This scenario-based approach allows to rapidly produce tephra fallout susceptibility maps that can provide important information for hazard assessment and disaster risk management in the case of future volcanic crises. In addition, shedding light on the potential impact of an eruption is crucial for civil protection authorities to decide on the necessary measures for the safety of the affected communities.

References

- Aguiar, S. (2018). Contribuição para o estudo da estratigrafia dos vulcões Fogo e Furnas (S. Miguel, Açores): implicações para a sua história eruptiva recente, MSc thesis, Universidade dos Açores, Portugal. (in Portuguese).
- Cioni, R., Pistolesi, M. and Rosi, M. (2015). Plinian and subplinian eruptions. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes*, Second Edition, Academic Press: 519-535.
- Felpeto, A., Martí, J., Ortiz, R. (2007). Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 166, 106-116.
- Gaspar, J. L., Queiroz, G., Ferreira, T., Medeiros, A. R., Goulart, C., and Medeiros, J. (2015). Earthquakes and volcanic eruptions in the Azores region: geodynamic implications from major historical events and instrumental seismicity, in: *Volcanic Geology of São Miguel Island (Azores Archipelago)*, edited by: Gaspar, J. L., Guest, J. E., Duncan, A. M., Barriga, F. J. A. S., and Chester, D. K., Geological Society, London, <https://doi.org/10.1144/M44.4>.
- Medeiros, J., Carmo, R., Pimentel, A., Vieira, J.C. and Queiroz, G. (2021). Assessing the impact of explosive eruptions of Fogo volcano (São Miguel, Azores) on the tourism economy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21, 417–437.
- Jenkins, S. J., Wilson, T., Magill, C., Steward, C., Blong, R., Marzocchi, W., Boulton, M., Bonadonna, C., and Costa, A. (2015). *Global volcanic hazard and risk*, chap. Volcanic ash fall hazard and risk, Cambridge University Press.
- Walker, G. P. L., Croasdale, R. (1971). Two plinian-type eruptions in the Azores. *Journal of the Geological Society*, 127(1), 17-55.
- Wallenstein, N. (1999). Estudo da história recente e do comportamento eruptivo do vulcão do Fogo (S. Miguel, Açores). Avaliação preliminar do “hazard”. PhD theses in Geology, especiality of Volcanology, Universidade dos Açores, Portugal. (in Portuguese).

Análogos Geoquímicos Portugueses de Rochas e Solos Marcianos (S. Saturnino – Fronteira vs Cratera de Gusev e Meridiani Planum)

Portuguese Geochemical Analogues of Martian Rocks and Soils (S. Saturnino – Fronteira vs Gusev Crater and Meridiani Planum)

C. S. Almeida Rocha (1) e E. I. Alves (2)

(1) Universidade de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA), Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), carla.s.rocha@tecnico.ulisboa.pt

(2) Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço (CITEUC), Departamento de Ciências da Terra., livo@dct.uc.pt

Summary: This research results from the petrographic and geochemical study of the outcropping phyllonic basic rocks in the S. Saturnino region (Portugal) as analogues of Mars (Gusev crater and Meridiani Planum), through geological missions carried out by rovers Spirit (MER-A) and Opportunity (MER-B). It is the 1st portuguese recognized site analogous to the geological, petrographic and geochemical environment observed on Mars.

Key words: Mars, Analogues, S. Saturnino (Portugal), Geochemistry, Principal Component Analysis and Automatic Classification

Palavras-chave: Marte, Análogos, S. Saturnino (Portugal), Geoquímica, Análise em Componentes Principais e Classificação Automática

Introdução: O programa Mars Exploration Rover – A e B, da NASA, teve como objetivos explorar a geologia de Marte, procurar evidências e condições ambientais favoráveis à existência de água líquida no passado, e avaliar os ambientes propícios à vida. Enviou para a Cratera de Gusev o robô Spirit (MER-A) e para Meridiani Planum o Opportunity (MER-B), <https://trek.nasa.gov/mars/>. Em Portugal, na Zona Tectono-Estratigráfica de Ossa Morena, freguesia de S. Saturnino do município de Fronteira, existem rochas filoneanas vulcânicas básicas cujas composições químicas são análogas às rochas marcianas.

Composições mineralógicas das rochas vulcânicas básicas de S.Saturnino: nos vulcanitos básicos ocorrem olivinas magnesianas (fosterite - crisolite), segundo a classificação de Deer et al., (1992); plagioclases (labradorite), segundo a classificação de Deer et al., (1992); piroxenas cálcicas (augite), segundo a classificação de Morimoto et al., (1988) e clinopiroxenas cuja representação no diagrama discriminante (Ti+Cr) vs. Ca, segundo Leterrier et al., (1982) pertencem ao domínio dos basaltos não orogénicos. Os metavulcanitos básicos apresentam as piroxenas alteradas para anfíbulas cálcicas como hornblenda (ou actinolite), segundo a classificação de Leake, (1977); plagioclases albitizadas, segundo a

classificação de Deer et al., (1992); em alguns casos observa-se a presença de epidoto, indicador de metamorfismo de baixo grau, da fácies dos xistos verdes.

Classificação das rochas pelas químicas totais e diagramas: As rochas da superfície de Marte da Cratera de Gusev (MER-A) e Meridiani Planum (MER-B), assim como as rochas de S. Saturnino, no que respeita à química total, classificam-se como basaltos toleíticos segundo Irvine & Baragar, (1971) (fig.1), de ambiente *Ocean Floor tholeites* (OFT) segundo Ishizuka, (1981).

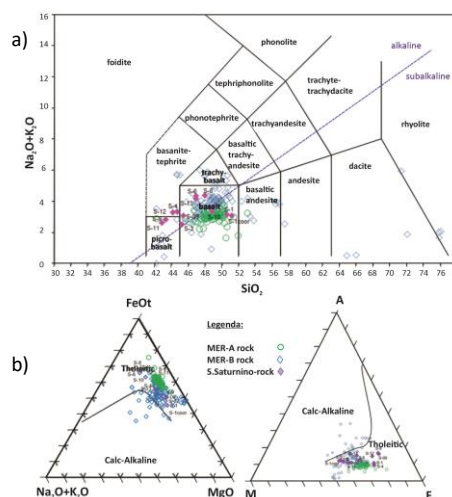


Fig. 1. a) Distribuição dos vulcanitos e metavulcanitos básicos das amostras de S. Saturnino e de Marte, no diagrama TAS (Total Alkalies - Silica) (Le Bas et al., 1986), com a sobreposição da subdivisão das séries alcalinas e subalcalinas (Irvine & Baragar (1971), in Rollinson, 1996). b) Projeção das amostras dos vulcanitos e metavulcanitos básicos de S. Saturnino e das rochas da superfície de Marte MER-A e MER-B no Diagrama AFM. A linha de separação das séries toleíticas e calco-alcalinas foi definida por Irvine & Baragar (1971).

Distribuição da % média dos elementos maiores:

rochas de S.Saturnino (45,65) <SiO₂> solos MER-A (50,0971); rochas MER-A (8,7535) <Al₂O₃> rochas de S.Saturnino (14,01); rochas de S.Saturnino (14,60) <Fe₂O₃> solos MER-B (24,8848); solos MER-B (7,6144) <MgO> rochas MER-B (10,5273); rochas MER-B (6,0616) <CaO> rochas de S.Saturnino (10,97); solos MER-B (2,3376) <Na₂O> rochas de S.Saturnino (3,24); rochas de S.Saturnino (0,24) <K₂O> rochas MER-A (0,6802); solo MER-A (0,948) <TiO₂> rochas de S.Saturnino (2,80); rochas de S.Saturnino (0,52) <P₂O₅> rochas MER-B (1,4775); rochas de S.Saturnino (0,26) <MnO> rochas MER-A (0,3855); rochas de S.Saturnino (0,02) <Cr₂O₃> solos MER-A (0,3863). Segundo a classificação de Pearson e pela análise das componentes principais, nomeadamente pela matriz de correlação no universo das amostras de rochas de S. Saturnino e rochas e solos MER-A e MER-B temos, os eixos F1 e F2 que nos indicam que o SiO₂ que representa o eixo F2 apresenta um ângulo >90°<180° com FeO₂, MnO e eventual CaO, ou seja, a presença de SiO₂ indica a ausência dos outros 3

óxidos; ainda obtiveram-se correlações positivas entre o Al₂O₃ com o Na₂O e o TiO₂; e do Fe₂O₃ com o MnO.

Pela informação cedida na distribuição do dendograma, foi efectuada a linha de corte em 1,050, para a divisão em dois grupos principais que, são os de maior incorporação de amostragem. A variação do Al₂O₃ torna distintos os dois grupos. O grupo 1 é constituído por maior % de Al₂O₃ e menor Fe₂O₃; compreende as rochas de S. Saturnino, rochas MER-B e solos MER-A. Enquanto o grupo 2 é constituído essencialmente por rochas MER-A e solos MER-B, embora também contenham com menor representatividade, rochas MER-B e solos MER-A; este grupo exhibe menor % de Al₂O₃ e maior quantidade de Fe₂O₃.

Conclusões: Ao nível geoquímico, as rochas de S. Saturnino da Zona Tectono-Estratigráfica de Ossa Morena, são idênticas às rochas que ocorrem em Marte, com o acréscimo da informação de que, se tratam de rochas básicas toleíticas características dos fundos oceânicos, com baixo grau de metamorfismo correspondente ao domínio dos xistos verdes, o que resultou, aqui, de metamorfismo regional. Fica o contributo da informação em que as rochas de Marte do Meridiani Planum (MER-B) da missão Opportunity exibem as mesmas características químicas composicionais que são também compatíveis com rochas vulcânicas básicas com baixo grau de metamorfismo.

Agradecimentos: Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através da Bolsa Individual de Investigação de Doutoramento (FCT SFRH/BD/105622/2015) e Bolsa SantanderTotta/UC 2013 (Bolsa Internacional).

Referências

- Deer, W.A., Howie, R.A., & Zussman, J. (1992). An Introduction to the Rock Forming Minerals, 2nd ed., Longman, London.
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.* 8, 523-548.
- Ishizuka, H. (1981). Geochemistry of the Horokanai ophiolite in the Kamuikotan tectonic belt, Hokkaido, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan* 87, 17-34.
- Leake, B.E. (1977). On aluminous and edenitic hornblendes. *Mineralogical magazine* 38, 389-405.
- Le Bas, M.J. et al. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27 (3), 745-750.
- Leterrier, J., Maury, R., Thonon, P., Girard, D. & Marchal, M. (1982). Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 59, 139-154.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Aoki, K. & Gottardi, G. (1988). Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist*, 73, 1123-1133.
- Robinson, P., Zhou, M., Hu, X., Reynolds, P., Wenji, B. & Yang, J. (1999). Geochemical constraints on the origin of the Hegenshan ophiolite, inner Mongolia, China. *Journ. Asian Earth Sci.*, 17, 423-442.
- <https://trek.nasa.gov/mars/> (consultado a 23 de Janeiro de 2023).

Vigilância vulcanológica, avaliação de riscos e difusão de informação no arquipélago dos Açores

Volcanic surveillance, risk assessment and diffusion of information in the archipelago of the Azores

R. Carmo (1,2), J.L. Gaspar (1,2), T. Ferreira (1,2,3), G. Queiroz (1,2), J. Medeiros (1,2) e C. Goulart (1,2)

(1) Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR) da Universidade dos Açores e Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), rita.l.carmo@azores.gov.pt

(2) Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA)

(3) Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade dos Açores

Summary: *The communication is vital for natural hazards mitigation and to the success of emergencies management. The IVAR/CIVISA provide technical and scientific advice to the Azores Regional Civil Protection and other local civil protection authorities, issuing specific warning messages related to natural hazards to Azores Civil Protection, as well as to entities related to civil aviation. All information of public interest on possible geological hazards occurrences is also available to the population in general through the IVAR/CIVISA website and Facebook.*

Key words: *volcanic surveillance, risk assessment, Azores, information*

Palavras-chave: *vigilância vulcanológica, avaliação de riscos, Açores, difusão de informação*

Fruto do seu enquadramento geográfico e geodinâmico, o arquipélago dos Açores está sujeito à ocorrência de vários perigos geológicos, entre os quais se destacam sismos, erupções vulcânicas, inundações, cheias, movimentos de vertente, explosões de vapor, emanações gasosas e tsunamis.

O Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR) da Universidade dos Açores, juntamente com o Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), têm como objetivo compreender e acompanhar o estado dos sistemas vulcânicos ativos e avaliar os riscos a estes direta ou indiretamente associados, para assim assessorarem técnica e cientificamente o Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores (SRPCBA) e as autoridades locais de proteção civil no domínio da prevenção e da previsão de catástrofes naturais. Para tal garantem a operacionalidade de um sistema regional de monitorização multiparamétrica, composto por redes permanentes nas áreas da geofísica, geodesia, geoquímica de gases, hidrogeologia, infrassons e meteorologia, num regime 24/7.

Os dados obtidos pelas estações de campo são transmitidos em tempo real ou quase real para o Centro de Aquisição de Dados (CAD) na sede do IVAR/CIVISA em Ponta Delgada, ilha de São Miguel,

onde são coligidos e disponibilizados aos diferentes grupos de monitorização para processamento.

A integração e a análise multiparamétrica da informação obtida concretizam-se ao nível do Centro de Operações de Emergência (COE) do IVAR/CIVISA, onde os dados de monitorização são permanentemente avaliados no sentido de se detetarem alterações ao estado de repouso dos sistemas vulcânicos. Sempre que a situação assim o exige é ativado o designado Gabinete de Crise, uma estrutura de resposta a emergências composta por especialistas das várias áreas científicas do IVAR/CIVISA, o qual tem como missão proceder à interpretação dos fenómenos observados e determinar o Estado de Alerta Científico adequado em cada momento. Adicionalmente, os dados de monitorização são cruzados com uma base de dados georreferenciados de riscos geológicos que integra os mais recentes resultados de investigação no domínio da avaliação da perigosidade, da suscetibilidade e da vulnerabilidade, procedendo-se à conceção de cenários.

A difusão de informação às autoridades de proteção civil e ao público respeita protocolos oficialmente predefinidos e é garantida com recurso às tecnologias de informação e comunicação disponíveis. Para tal, o COE está diretamente ligado ao SRPCBA através da infraestrutura de comunicações de voz e dados do

Governo Regional dos Açores, incluindo um sistema de videoconferência, e beneficia de sistemas de comunicação redundantes, incluindo telefone via satélite e link de rádio UHF. Deste modo, e sempre que necessário, são emitidos avisos para o SRPCBA (Fig. 1), como acontece, a título de exemplo, sempre que se regista um sismo sentido, o incremento da atividade geofísica, geodésica e ou geoquímica numa determinada zona sismogénica e/ou sistema vulcânico, a qualidade do ar interior em espaços onde as emanações gasosas atingem valores considerados críticos para a saúde pública, e o perigo iminente de movimentos de vertente.

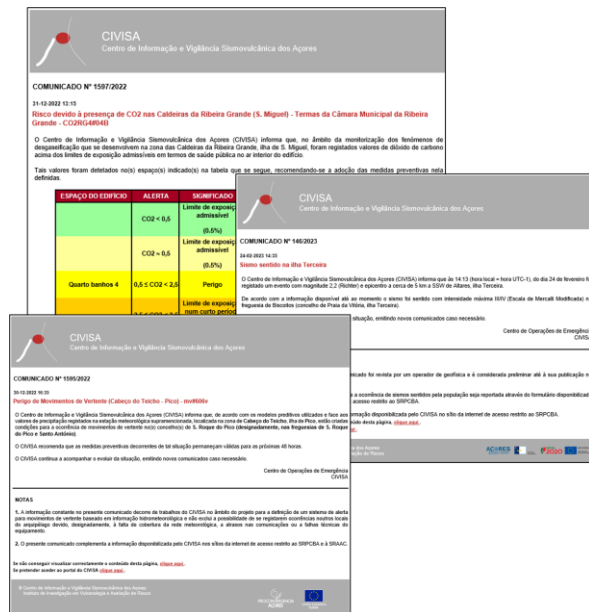


Fig. 1. Exemplos de avisos emitidos pelo IVAR/CIVISA para o SRPCBA.

No âmbito da ICAO (International Civil Aviation Organisation) e da sua estrutura designada International Airways Volcano Watch (IAVW) (ICAO, 2019), dirigida para a definição de planos de contingência relacionados com a presença de cinzas vulcânicas na atmosfera, o COE emite, também, avisos para um conjunto de entidades relacionadas com a aviação civil. Estes avisos, designados por VONA (Volcano Observatory Notice for Aviation), consistem num conjunto de informação estruturada que transmite o estado de atividade de um vulcão ou

sistema vulcânico, incluindo uma escala de alerta de quatro níveis (Fig. 2).

- (1) VOLCANO OBSERVATORY NOTICE FOR AVIATION (VONA)
 (2) Issued: 20220323/1850Z
 (3) Volcano: São Jorge (VNUM #382030)
 (4) Current Aviation Color Code: YELLOW
 (5) Previous Aviation Color Code: GREEN
 (6) Source: IVAR/CIVISA
 (7) Notice Number: 2022/001
 (8) Volcano Location: 3839N02805W
 (9) Area: Atlantic Ocean, Azores
 (10) Summit Elevation: 1053 m (3455 ft)
 (11) Volcanic Activity Summary: Since 20220319/1705Z, a sudden increase in the number of low magnitude earthquakes started to occur at São Jorge Island (Manadas Fissure Volcanic System), pointing to heightened volcanic unrest.
 (12) Volcanic Cloud Height: NIL
 (13) Other Volcanic Cloud Information: NIL
 (14) Remarks: São Jorge Island is a WNW-ESE-trending fissure volcanic system, characterized by Hawaiian/Strombolian volcanism forming chains of scoria cones and associated lava flows. The western half of the island corresponds to the active Manadas Fissure Volcanic System, which was the site of two historical eruptions (AD 1580 and AD 1808), that produced basaltic lava flows, ashfall and pyroclastic density currents.
 (15) Contacts: Operational room civisa.coe@azores.gov.pt

Fig. 2. Exemplo de aviso emitido pelo IVAR/CIVISA direcionado às entidades relacionadas com a aviação civil.

Toda a informação de interesse sobre a iminência ou a ocorrência de perigos geológicos é divulgada ao público, quer através do website e do Facebook do IVAR/CIVISA (www.ivar.azores.gov.pt; Facebook IVAR.UAC), quer dos órgãos de comunicação social, num modelo que tem por objetivo elevar a eficiência e a eficácia da resposta a situações de emergência.

Ao nível da educação, o IVAR/CIVISA organizam visitas de estudo às suas instalações, em particular ao nível das escolas, e promovem e participam em exercícios e ações regulares de formação com as mais diversas entidades, públicas e privadas, de forma a dar a conhecer as atividades de monitorização e os sistemas de alerta em vigor e sensibilizar a população para os perigos que podem afetar a região dos Açores.

Referências

ICAO (2019). Handbook on the International Airways Volcano Watch (IAVW). Operational Procedures and contact list. Doc 9766-AN/968. International Civil Aviation Organization.

Monitorização hidrogeoquímica de vulcões ativos na ilha de São Miguel (Açores, Portugal): previsão utilizando modelos de Box-Jenkins

Hydrogeochemical monitoring of active volcanoes on the island of São Miguel (Azores, Portugal): forecasting using Box-Jenkins models

J. V. Cruz (1,2), R. M. Brandão (1,2), C. Andrade (2) e R. Coutinho (1,2)

(1) FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal (jose.vm.cruz@uac.pt)

(2) IVAR – Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal

Summary: Hydromineral discharges associated with active volcanic systems in the Azores have been monitored for more than three decades as a contribution to the volcanic surveillance in the archipelago. For that purpose, the definition of the background baseline for the several physico-chemical parameters and elemental composition analyzed in selected groundwater discharges is rather important, as any exceedances maybe interpreted as a sign of volcanic unrest. The present work demonstrates the use of Box-Jenkins forecast models in the treatment of data collected over a decade (2012 - 2022) at the central volcanoes of Fogo and Furnas (São Miguel). Box-Jenkins models like ARIMA(p,d,q) and SARIMA(p,d,q)x(P,D,Q)S were fitted, allowing the forecast of values for the subsequent 10 months. Results shows that with this type of models is possible to predict the hydrogeochemical background parameters in the short term, thus allowing the identification of outliers that exceed the confidence intervals, that subsequently can be interpreted as associated to volcanic unrest.

Key words: hidrogeochemistry, volcanic monitoring, word 3, forecasting, Box-Jenkins models, Azores

Palavras-chave: hidrogeoquímica, monitorização vulcânica, previsão, modelos de Box-Jenkins, Açores

A monitorização vulcânica permite obter informação relevante para a proteção civil e para a mitigação dos efeitos negativos associados à atividade eruptiva. A monitorização vulcânica abrange um conjunto diversificado de técnicas no domínio das ciências da terra, entre as quais a hidrogeoquímica se integra, que conjugadamente devem permitir definir o nível de fundo da atividade dos sistemas monitorizados e interpretar quaisquer anomalias relativamente a esta linha de base como sinais de instabilidade vulcânica (McGuire, 1995). Para o reconhecimento desta linha de base, o recurso a ferramentas matemáticas de análise de séries de dados temporais é fundamental, devido à maior fiabilidade comparativamente à mera interpretação de padrões gráficos (Tilling, 1995).

No arquipélago dos Açores ocorrem numerosas emergências de águas minerais, desde nascentes de águas frias gasocarbónicas a águas termais, localizadas predominantemente na ilha de São Miguel, que apresentam, igualmente, uma grande variabilidade ao nível da magnitude e da tipologia composicional (e.g. Freire et al., 2015). Na medida que estas manifestações hidrotermais estão associadas aos sistemas vulcânicos ativos, desde há mais de três décadas que os parâmetros físico-

químicos e a composição destas águas minerais são monitorizados no âmbito do sistema de vigilância sismovulcânica do arquipélago.

O presente trabalho pretende demonstrar a utilização de modelos de previsão de Box-Jenkins (Box et al., 2016) no tratamento dos dados resultantes da monitorização hidrogeoquímica em curso. A base de dados utilizada compreende valores recolhidos durante uma década (2012 - 2022) nos vulcões centrais do Fogo e das Furnas, na ilha de São Miguel.

Atualmente, a rede de monitorização nestes vulcões compreende 10 pontos de água (Fig. 1), selecionados em função das respetivas características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas. Nestes pontos, são efetuadas medições, pelo menos uma vez por mês, de pH, temperatura, condutividade elétrica, Eh, CO₂ dissolvido e alcalinidade, e recolhidas amostras para determinação da composição elementar. Para mais, estudos feitos desde o final do séc. XIX, e estendidos durante o séc. XX, permitem verificar que ao longo deste período alargado as características geoquímicas das águas minerais nestes vulcões denotam uma notória estabilidade, o demonstra a sua utilidade para a monitorização (Cruz, 2003).

Considerando a existência, em alguns casos, de múltiplos registos mensais procedeu-se previamente ao cálculo do valor médio para a série de dados tenha apenas um registo mensal. De seguida, procedeu-se ao ajuste de modelos ARIMA(p,d,q) e SARIMA(p,d,q)x(P,D,Q)_s (modelos de Box-Jenkins), utilizando uma função de escolha automática do melhor modelo implementada no software R. A análise da qualidade do ajustamento do modelo foi realizada através do teste de Ljung-Box.

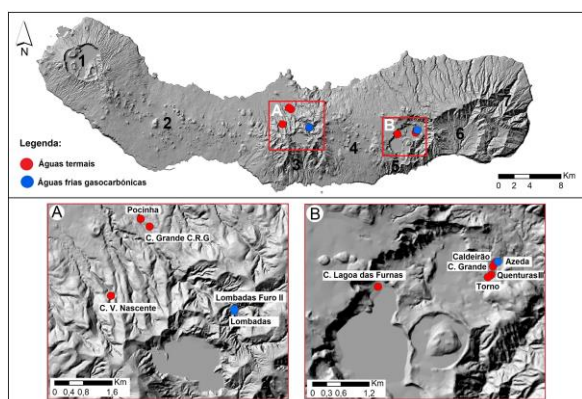


Fig. 1. Localização dos pontos de água monitorizados (1 - Vulcão das Sete Cidades Volcano; 2 - Sistema Vulcânico Fissural dos Picos; 3 - Vulcão do Fogo; 4 - Sistema Vulcânico Fissural do; 5 - Vulcão das Furnas; 6 - Vulcão da Povoação; 7 - Sistema Vulcânico do Nordeste).

Com os modelos ajustados foram estimados os valores para os 10 meses subsequentes, e calculados os respetivos intervalos de confiança a 80% e a 95% (Fig. 2). Os resultados obtidos permitem verificar que com a utilização de modelos de Box-Jenkins se conseguem prever os parâmetros hidrogeoquímicos de fundo a curto prazo, e assim podem identificar-se eventuais alterações que excedam os intervalos de confiança.

Posteriormente, estas excedências poderão ser, eventualmente, associadas a perturbações no sistema vulcânico.

Referências

- Box, G., Jenkins, G.M., Reinsel, G. C. & Ljung, G. M. (2016). Time Series Analysis: Forecasting and Control, John Wiley & Sons. 712 pp.
- Freire, P., Andrade, C., Viveiros, F., Silva, C., Coutinho, R. & Cruz, J.V. (2015). Mineral water occurrence and geochemistry in the Azores volcanic archipelago (Portugal): insight from an extended database on water chemistry. *Environ. Earth Sci.*, 73: 2749-2762.
- McGuire, W.J. (1995). Monitoring active volcanoes - an introduction. In: McGuire, B., Kilburn, C.R.J. & Murray, J. (eds.). *Monitoring active volcanoes*. UCL Press, 1-31.
- Tilling, R.I. (1995). The role of monitoring in forecasting volcanic events. In: McGuire, B., Kilburn, C.R.J. & Murray, J. (eds.). *Monitoring active volcanoes*. UCL Press, 369-402.

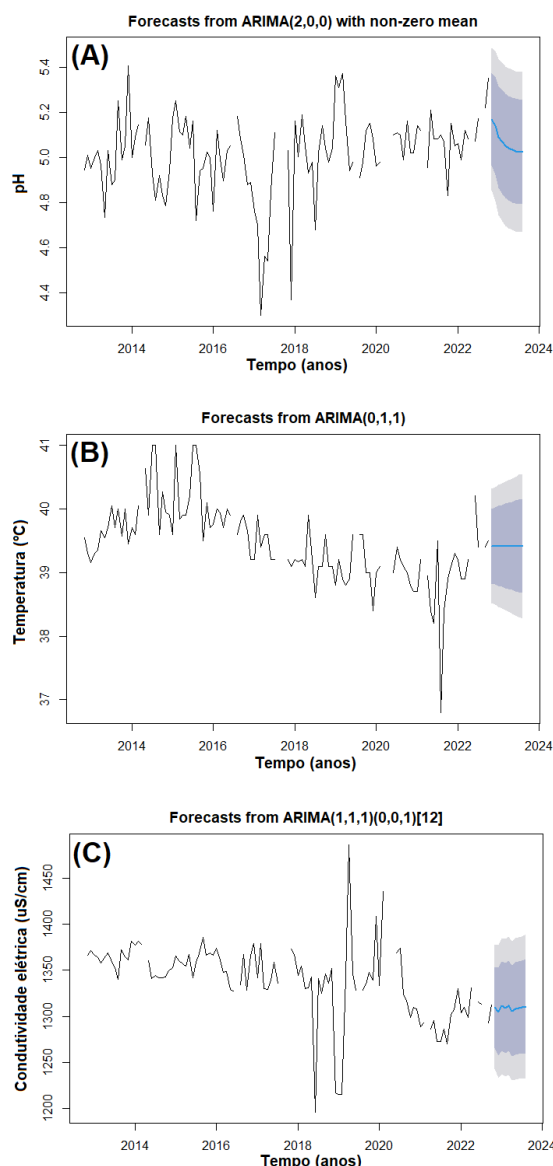


Fig. 2. Exemplos de previsão utilizando modelos de Box-Jenkins para: (A) pH na nascente da Água Azeda, (B) temperatura na nascente do Torno, e (C) condutividade elétrica na nascente das Quenturas.

A crise sísmica da ilha de São Jorge (Açores) de 2022: resultados preliminares de uma densa rede sísmica

The São Jorge Island (Azores) 2022 seismic crisis: preliminary results from a dense seismic network

N. A. Dias (1,2), J. Fontiela (3), I. Rio (1), S. Custódio (1), G. Silveira (1,2), G. Emídio (1), F. Carrilho (4), M. Moreira (1,2), C. Corela (1), A. Soares (1), O. Cavacundo (1), J. Carvalho (1) e J. L. Duarte (1)

(1) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal, nmdias@fc.ul.pt

(2) Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Portugal

(3) Instituto de Ciências da Terra, Universidade de Évora, Portugal

(4) Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P., Portugal

Summary: Shortly after the beginning of the seismic crisis that started on March 19th 2022 in São Jorge island, Azores, a temporary network composed of 19 short-period seismic stations was deployed by IDL and ICT, that operated for the remaining of 2022. The dataset generated by this network allowed an improvement in the characterization of the seismicity, but also and the structures generating it. Besides typical 1D models revision and seismicity relocation, several other types of analysis are under way. Waveform cross correlation to identify families of similar earthquakes and access their common source, and the seismicity spatial and time evolution. There is a hint for sensitivity to the passage of tele seismic waves, with variation in seismic activity in a process known as dynamic triggering. Seismic interferometry using continuous seismic ambient noise recorded by the permanent stations, allowed a first glance of the shallow subsurface reflection response beneath both stations.

Key words: São Jorge, Seismicity, magmatic intrusion, crustal structure, volcanic island

Palavras-chave: São Jorge, sismicidade, intrusão magmática, estrutura crustal, ilha vulcânica

No dia 19 de Março de 2022, teve início uma crise sísmica na ilha de São Jorge, arquipélago dos Açores associada a uma intrusão magmática em profundidade, que perdura até hoje. Apesar da intensa actividade sísmico-tectónica que se observa na área do grupo central dos Açores, com eventuais fenómenos vulcânicos associados como as crises dos Capelinhos-Faial de 1957-58, do Pico em 1963, de São Jorge em 1964 ou da Serreta-Terceira de 1998, a ilha de São Jorge não tinha exibido significativa actividade desde a crise sísmica e erupção associada, ocorridas em 1964.

Em resposta ao início da crise e aos receios desta poder ser o prenúncio de uma erupção vulcânica, várias instituições nacionais e internacionais desenvolveram esforços para aumentar a cobertura instrumental sísmica, geodética e geoquímica disponível na ilha. O IDL, em colaboração com o ICT e coordenação com o IPMA e o CIVISA instalou uma rede sísmica temporária composta por 19 estações de curto período (1 e 2 Hz), tendo iniciado a operação em 24 de março (cf. Fig1.). Esta rede esteve em operação total até Dezembro de 2022, estendendo-se a operação de cinco estações para o 1º semestre de 2023.

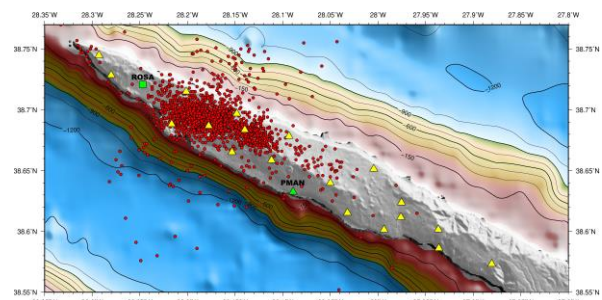


Fig. 1. Rede sísmica usada neste estudo, com as estações permanentes do IPMA (verde) e a rede temporária do IDL (amarelo). Sismicidade (vermelho) localizada pelo IPMA entre 19 de Março e 15 de Abril de 2022.

A inclusão de um número elevado de observações permite várias abordagens, para além das “típicas” associadas à relocalização e melhoria dos modelos usados nessa tarefa. Uma tal rede permite, assim, não apenas estudar a evolução da sismicidade durante a crise, através da sua evolução temporal e agrupamento espaço-temporal em famílias de sismos, como obter um modelo sísmico da estrutura crustal sob a ilha.

Sismos repetidos são dois ou mais eventos que partilham a mesma localização e fonte sísmica,

apresentando forma de onda similar nos registos dos instrumentos sísmicos. São comuns em regiões vulcânicas, tectónicas e glaciares. Assim, os sismos repetidos são um excelente indicador da actividade sísmica para acompanhar, por exemplo, a movimentação de fluidos em profundidade, actividade vulcânica, ou até subtis alterações da estrutura. Para detectar os sismos repetidos, foram feitas correlações cruzadas entre os diferentes pares de estações ao longo de 2022. Os clusters de sismos repetidos foram organizados em famílias para analisar a evolução da actividade sísmica em função do tempo.

A análise preliminar da evolução temporal da crise sísmica sugere alguma sensibilidade à passagem de ondas geradas em telessismos. Nas últimas décadas têm-se acumulado evidências de que sistemas vulcânicos e/ou tectónicos respondem, por vezes, à passagem de ondas sísmicas geradas em eventos telessísmicos, com variações nas actividades sísmica ou vulcânica, um fenómeno conhecido como *dynamic triggering*. Face às primeiras evidências desta

sensibilidade no sistema de São Jorge, procedeu-se a uma análise sistemática da resposta local durante o desenrolar da crise sísmica à passagem de ondas telessísmicas e de como essa sensibilidade ao *triggering* dinâmico terá evoluído ao longo do tempo. Estes resultados poderão fornecer valiosas indicações sobre a evolução crítica do sistema de falhas de São Jorge.

Utilizou-se o ruído sísmico ambiente, registado continuamente entre Janeiro de 2021 e Dezembro de 2022 nas duas estações permanentes do IPMA, para caracterizar as alterações no estado de tensão no subsolo devidas à crise sísmica, recorrendo a interferometria sísmica. A observação preliminar dos valores de similaridade dos autocorrelogramas permite identificar potenciais variações nas propriedades mecânicas da subsuperfície sob Manadas (PMAN), que não foram observadas na estação dos Rosais (ROSA). Adicionalmente, a análise dos autocorrelogramas permitiu ainda uma identificação das chegadas das fases refletidas na Moho e em algumas descontinuidades intracrustais.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) – UIDB/50019/2020 (IDL) UIDB/04683/2020 (ICT) e UIDP/04683/2020 (ICT) e apoiado pelos projetos RESTLESS - RESTLESS— Ferramentas integradas para decifrar a génese e evolução espaço-temporal de sequências sísmicas. (PTDC/CTA-GEF/6674/2020) e GEMMA (PTDC/CTA-GEO/2083/2021).

Estrutura crustal da Ilha Terceira (Açores): imageamento de uma ilha vulcânica por uma rede sísmica densa

Crustal structure of Terceira Island (Azores): imaging of a volcanic island with a dense seismic network

N. A. Dias (1,2), J. Fontiela (3), G. Silveira (1,2), L. Matias (1), I. Veludo (4,†) e M. Moreira (1,2)

(1) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal, nmdias@fc.ul.pt

(2) Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Portugal

(3) Instituto de Ciências da Terra, Universidade de Évora, Portugal

(4) Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P., Portugal

Summary: We will present the preliminary results obtained by a temporary BB-SP seismic network that operated in Terceira Island in 2019-2020, reinforcing the permanent stations and increasing the microseismicity detection level, allowing to derive a 3D tomographic model. A prominent low V_p and high V_p/V_s anomaly is seen to the west of the island, beneath the Santa Barbara active volcano, and a high V_p beneath the Serra do Cume extinct volcano. The fissural volcanic system located roughly between these two volcanic structures has a more complex signature, in particular the V_p/V_s ratio values in the area of geothermal energy exploration. Two main clusters of seismicity are identified, one beneath Santa Barbara volcano and the other beneath the mid-island fissural system, their distribution clearly being controlled by the V_p and mainly V_p/V_s anomalies distribution. Some sparse seismicity also occurs also in eastern Terceira, mainly associated with Lajes Graben.

Key words: Terceira, Seismicity, seismic tomography, crustal structure, volcanic island

Palavras-chave: Terceira, sismicidade, tomografia sísmica, estrutura crustal, ilha vulcânica

O arquipélago dos Açores está localizado num ambiente geodinâmico complexo associado à Junção Tripla entre as placas Europeia, Norte-Americana e Africana, onde as taxas de expansão diferenciais entre os ramos resultam em intensos fenómenos sísmicos e vulcânicos.

Sendo de origem vulcânica, a atividade sismovulcânica observada em todo o arquipélago é muito variável, tendo cada ilha sofrido vários episódios de fortes sismos e/ou erupções vulcânicas desde a sua colonização no século XV. A ilha Terceira, a 2ª ilha mais importante em termos económicos e populacionais, apresenta menor atividade sísmica e vulcânica interior do que a maioria das ilhas dos Açores. São exceções recentes o terramoto de 1980 M6.9 e a erupção da Serreta de 1998-2000, ambos localizados no mar.

Os primeiros resultados sobre a estrutura sísmica da ilha foram obtidos na sequência das campanhas geofísicas de sísmica activa para avaliação do potencial geotérmico das ilhas de São Miguel e Terceira da década de 1970 (Senos *et al.*, 1980), e da campanha de monitorização das réplicas do sismo de 1980 (Hirn *et al.*, 1980). Estes trabalhos indicaram

valores médios de V_p inferiores a 4,0 km/s nos níveis mais superficiais (<2km), passando a valores de 4,5 a 5,2 km/s até os 3-5 km, mantendo-se em 5,2 km/s até aos 8 e 13 km, onde a velocidade transita para 7 km/s e 8 km/s; quanto aos valores de V_p/V_s estes rondavam os 1,732, baixando para 1,45 nas zonas geotérmicas.

No âmbito do protocolo SIVISA entre o IPMA e o actual IVAR, na 1ª década do século XXI foi possível aumentar a cobertura instrumental da ilha e derivar um modelo tomográfico 3D consistente com os valores acima indicados, mas de baixa resolução devido à baixa sismicidade e as anomalias instrumentais (Dias *et al.*, 2009).

Em 2019-2020 foi instalada uma rede sísmica temporária, composta por 8 estações sísmicas de banda-larga (30s) do ICT e 17 estações de curto-período (1, 2 e 4.5 Hz) do IDL que, em complemento à rede permanente do IPMA permitiu uma cobertura instrumental inédita de 31 estações da ilha Terceira (cf. Fig.1). Os objectivos desta rede eram o de monitorizar a microseismicidade da ilha, e em particular da sismicidade eventualmente induzida pela central geotérmica do Pico Alto, e derivar um modelo tomográfico da crosta da ilha, baseado no

acoplamento dos métodos tomográficos de sismos locais (LET) e de ruído sísmico (ANT).

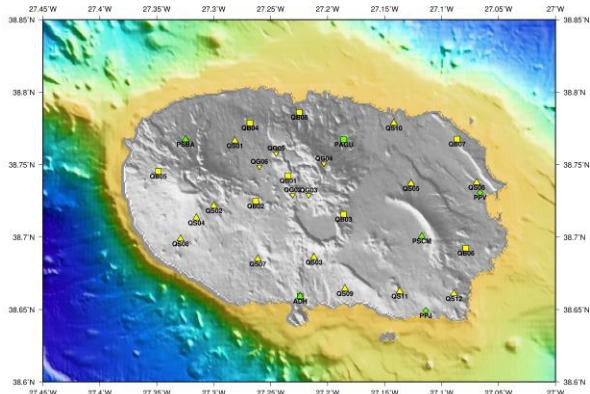


Fig. 1. Rede sísmica usada neste estudo, com as estações permanentes do IPMA (verde) e as temporárias IDL-ICT 2019-2020 (amarelo). O tipo de símbolo distingue entre sensores de banda-larga (quadrados) e de curto-período (triângulos).

A sismicidade registada localiza-se em dois *clusters* principais, com alguma sismicidade dispersa pela ilha. Um dos *clusters* está localizado na zona central da ilha, entre os vulcões do Pico Alto e Guilherme Moniz e sensivelmente coincidente com a área da Central Geotérmica do Pico Alto e caracteriza-se por eventos de magnitude baixa ou mesmo negativa e profundidades focais em geral inferiores a 10 km. Nas imediações da Central é possível identificar um agrupamento de sismicidade muito superficial (<3km) possivelmente resultado do funcionamento da

central. O segundo *cluster* localiza-se no sector ocidental da Terceira, na área do sistema vulcânico de Santa Bárbara e exhibe eventos mais energéticos e com formas de onda mais complexas, alternando entre tectónicos e vulcânicos. Alguma sismicidade esparsa ocorre também na zona oriental da ilha, principalmente associada ao Graben das Lajes.

As imagens tomográficas mostram alguns sinais esperados. As áreas sob os vulcões de Santa Bárbara e do Pico Alto exibem valores baixo de V_p e altos de V_p/V_s , mais acentuados no primeiro caso, e típicos de vulcões activos enquanto a área sob o vulcão extinto da Serra do Cume exhibe valores relativamente elevados de V_p . O sistema vulcânico fissural localizado sensivelmente entre os sistemas vulcânicos do Pico Alto e de Guilherme Moniz, mostra uma assinatura mais complexa, em particular da razão V_p/V_s muito provavelmente devido ao efeito complexo dos fluidos e da temperatura, uma vez que esta é a área atualmente explorada para energia geotérmica. Os valores de V_p e V_p/V_s são consistentes com os de outros campos geotérmicos, i.é, valores elevados de V_p e baixo V_p/V_s nos níveis crustais mais superficiais, “normalizando” a partir dos 3 km de profundidade.

Agradecimentos: Os autores agradecem à Força Aérea Portuguesa o apoio e autorização para a instalação de duas estações sísmicas em áreas afectas à Base Aérea nº4, bem como à Quinta do Galo e a Francisco Cota Rodrigues pela instalação de estações sísmicas em terrenos de sua propriedade Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) – UIDB/50019/2020 (IDL) UIDB/04683/2020 (ICT) e UIDP/04683/2020 (ICT) e apoiado pelos projetos RESTLESS—IntegRatEd tools to decifrar a génese e a evolução espaço-temporal de sequências sísmicas (PTDC/CTA-GEF/6674/2020) e GEMMA (PTDC/CTA-GEO/2083/2021).

Referências

- Dias, N.A, Veludo, I. & Villaseñor, A. (2009). Crustal Structure of Terceira Island (Azores): a comparison of different algorithms, in. ORFEUS/NERIES 2nd Workshop on Seismic Tomography, Utrecht.
- Hirn, A., H. Haessler, P. Hoangtrung, G. Wittlinger, & L. A. Mendes-Victor, (1980). Aftershock Sequence of the January 1st, 1980, Earthquake and Present-Day Tectonics in the Azores, Geophys. Res. Lett., 7, 501-504.
- Senos, M. L., Nunes J.C., & Moreira, V.S., (1980). Estudos da estrutura da crosta e manto superior nos Açores. Relatório INMG, Lisboa, 205-214.

Deciphering the influence of ocean tides on the eruptive activity of Mount Etna (Sicily, Italy)

Decifrando a influência das marés oceânicas na actividade eruptiva do Monte Etna (Sicília, Itália)

S. Dumont (1,2), G. Salerno (3), J. Selva (4,5), A. Cannata (3,6), M. Liuzzo (7,8) and R. Ramalho (9,1)

- (1) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz, Lisboa, Portugal, ssdumont@fc.ul.pt
- (2) Universidade da Beira Interior, Instituto Dom Luiz, Covilhã, Portugal
- (3) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Etneo, Catania, Italy
- (4) Dept. of Earth, Environmental, and Resources Sciences, University of Naples Federico II, Naples, Italy
- (5) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna, Bologna, Italy
- (6) Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali, Sezione di Scienze della Terra, Università degli Studi di Catania, Catania, Italy
- (7) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo – Italy
- (8) Università di Ferrara, Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra – Italy
- (9) School of Earth and Environmental Sciences, Cardiff University, Cardiff, United Kingdom

Sumário: O desencadeamento de erupções vulcânicas representa a expressão máxima de uma longa série de complexos processos físico-químicos. Embora a capacidade de prever erupções vulcânicas e as mudanças sin-eruptivas no estilo eruptivo dependam da disponibilidade e qualidade dos dados de monitorização, os pré-requisitos que tornam um vulcão pronto para entrar em erupção nem sempre são totalmente compreendidos. Consequentemente, decifrar as condições que podem provocar a desestabilização dos sistemas metaestáveis pode fornecer novas informações sobre os processos que levam ao desencadear da erupção. Neste estudo, exploramos a possível influência das variações do nível do mar na atividade eruptiva do Monte Etna (Itália). Consideramos um intervalo de tempo de aproximadamente ~22 anos da cronologia eruptiva, de abril de 1999 a dezembro de 2020, bem como o volume e a duração das atividades eruptivas. Analisamos a sua distribuição temporal juntamente com as variações plurianuais do nível do mar registradas pelo marégrafo de Catania. Os nossos resultados sugerem uma resposta do vulcão ao extenso alívio de carga relacionado com o mar.

Palavras-chave: vulcão Monte Etna, actividade vulcânica, desencadeamento pelas marés, marés oceânicas, Mediterrâneo, variações do nível do mar

Key words: Mount Etna volcano, volcanic activity, tidal triggering, oceanic tides, Mediterranean sea, sea-level variations

1. Introduction

Deciphering the conditions that lead a volcano to erupt is of primary interest in volcanology, representing a key step in the forecasting of future unrest and eruptive events and therefore volcanic hazards. The processes associated with the volcanic eruptions initiate in the upper mantle and extend up to the subsurface, spanning a broad spectrum of timescales, from thousands of years to a few days. During these time intervals, processes that are external to the volcano, such as solid Earth and Ocean tides, may interfere with the internal dynamics of the volcano, slowing down or conversely accelerating the destabilization of the volcanic system and ultimately triggering an eruption (Dumont et al., 2022).

The influence of oceanic tides has been demonstrated on both coastal and submarine volcanic systems (McNutt and Beavan, 1987; Tolstoy,

2015). Despite some clear evidence of the impact of major sea-level variations (>10m) on the triggering of volcanic events at millennial time scales in relation to astronomical cycles and related climate variations (Kutterolf et al., 2013), the interplay between tides and volcanic activity is still poorly understood, especially at shorter time scales. This work provides new insights on these interactions by exploring the possible influence of the sea-level variations on Mount Etna, one of the most active and best monitored volcanoes in the world.

2. Data and method

Here we focused on a time period spanning 1 April 1999 to 31 December 2020 and used sea-level data acquired by the tide gauge located off-shore Catania as part of the Italian network of tide-gauges. We analyzed the 22-year-long data sets using a time-series analysis technique the singular spectral

analysis (SSA) which allows for the decomposition of any time-series into slowly varying trends, (pseudo) periodic signals and noise. Given that the Mediterranean sea is characterized by small-amplitude variations that are of a few dozens of centimetres, we considered only the longer periods composing the signal which transport larger water masses and which are prone to induce local stress changes on the volcano plumbing system (McNutt and Beavan, 1987). These periods are of ~ 3 , ~ 4 , ~ 8 and ~ 13 years and have been detected in other tide gauges (Courtilot et al., 2022). We then combined into what we call the multi-annual sea-level (MASL) variations and derived the associated loading. Additionally, the eruptive activity of Mount Etna was considered through its eruptive cycles characterized by two parameters, that of the eruption duration and that of the total volume of erupted material.

3. Main results

Our analysis of long-period components in sea-level reveals a peak in MASL centred on 2010 and characterized by a increasing rate of ~ 3 cm per year. This change is not only observed in the tide gauge of Catania but also in other tide gauges in the vicinity of Sicily. Actually, this variation was identified in the whole Mediterranean basin and interpreted as a result of ocean-atmospheric interaction (Mohamed et al., 2019).

The loading we derived from the MASL shows a drop and a minimum value when this largest rate of the sea-level is detected. Critically, this signal coincides

with the 2008-2009 flank eruption of Mount Etna, a 418-days long event during which a total volume of erupted lava corresponded to $74 \times 10^6 \text{ m}^3$. Interestingly, this eruption represents a sort of turning point of the eruptive activity at Mount Etna over the ~ 22 -year interval studied, which marks a change in the volcano's behavior. We evaluated this behavior by considering the duration and volume of magma erupted during the eruptive phases at Mount Etna and built two curves representing the main variations of these two parameters by convolving the aforementioned data using a 418-day window, period which corresponds to the aforementioned 2008-2009 eruption of Mount Etna, the longest between 1999 and 2020. Both curves confirm the change in the eruptive behavior of Mount Etna with important volumes of magma erupted during eruptions of varying durations before the 2008-2009 flank eruption. After this major event, the eruptive activity was rather reduced with numerous but shorter phases associated with very low erupted material. But our key observation is the simultaneity of the minimum of sea loading and a peak in the eruption duration and volume of erupted material.

4. Conclusions

Our analysis based on eruptive activity on Mount Etna over ~ 22 years and variations of the Mediterranean sea-level suggest an effect of MASL-related loading on the plumbing system of Mount Etna.

Acknowledgements: SD acknowledges the Fundação para a Ciência e Tecnologia for its financial support through the SFRH/BPD/117714/2016 grant and 2021.00876.CEECIND contract. This work is part of the FCT-funded RESTLESS project (PTDC/CTA-GEF/6674/2020) and the Instituto Dom Luiz (IDL, UIDB/50019/2020). The authors acknowledge the Italian network of tide-gauges for data access and for maintaining the tide gauges over such long periods which is crucial for making possible long-term analyses. SD acknowledges F. Lopes (IPGP, France) and A. Simon (IDL, Portugal) for fruitful discussions.

References

- Courtilot, V., Le Mouél, J. L., Lopes, F., & Gibert, D. (2022). On Sea-Level Change in Coastal Areas. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(12), 1871.
- Dumont, S., Feuillet, N., Petrosino, S., & Pyle, D. M. (Eds.). (2022). External forcing on volcanoes and volcanic processes: Observations, analysis and implications. *Front. Earth Sci.* 10:999214. doi: 10.3389/feart.2022.999214
- Kutterolf, S., Jegen, M., Mitrovica, J. X., Kwasnitschka, T., Freundt, A., & Huybers, P. J. (2013). A detection of Milankovitch frequencies in global volcanic activity. *Geology*, 41(2), 227-230
- McNutt, S. R., & Beavan, R. J. (1987). Eruptions of Pavlof Volcano and their possible modulation by ocean load and tectonic stresses. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 92(B11), 11509-11523.
- Mohamed, B., Abdallah, A. M., Alam El-Din, K., Nagy, H., & Shaltout, M. (2019). Inter-annual variability and trends of sea level and sea surface temperature in the Mediterranean Sea over the last 25 years. *Pure and Applied Geophysics*, 176, 3787-3810.
- Tolstoy, M. (2015). Mid-ocean ridge eruptions as a climate valve. *Geophysical Research Letters*, 42(5), 1346-1351.

A Falha das Lajes (Ilha Terceira, Açores): avaliação da perigosidade sísmica

The Lajes Fault (Terceira Island, Azores): seismic hazard assessment

A. Hipólito (1), J. Madeira (2), R. Quartau (3) e J. L. Gaspar (4)

- (1) Grupo de Paleontologia e Paleobiogeografia Marinhas, Universidade dos Açores, CIBIO-Açores, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Ponta Delgada, Açores, Portugal; ana.hipolito80@gmail.com;
(2) Instituto Dom Luiz; Faculdade Ciências, Universidade de Lisboa; Lisboa, Portugal;
(3) Instituto Hidrográfico; Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal;
(4) Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Universidade dos Açores, Portugal.

Summary: *Oceanic-island volcanoes in complex geodynamic settings, as the diffuse transtensional plate boundary in Azores, experience an intricate interplay between tectonic, magmatic, and erosional processes. Establishing the temporal relation between emplacement of volcanic products and faulting is crucial to understand magmatic-tectonic interactions and to reconstruct earthquake history in volcanic edifices. An exhaustive analysis of the Lajes Fault (Terceira Island, Azores) is presented. The fault displays an 8300m-long, 30-100m-high fault scarp, extending further 13km offshore. Paleoseismological analysis identified 5 paleoearthquakes over the last 13.7-14.02ka (cal BP), including the 1614 AD event, recurrence intervals of 500-5000a, and maximum expected moment magnitudes of 6.6. Crucially, Lajes Fault is part of a larger active tectonic system thus increasing the seismogenic potential of the area.*

Key words: *Active tectonics, Paleoseismology, Seismic hazard assessment, Oceanic-island volcanoes, Azores,*

Palavras-chave: Tectónica ativa, Paleossismologia, Perigosidade sísmica, Ilhas vulcânicas, Açores

Ilhas vulcânicas oceânicas situadas em ambientes geodinâmicos complexos, como a fronteira de placas transtensiva difusa nos Açores, apresentam uma complexa interação entre processos tectónicos, vulcânicos e erosivos. Determinar a contribuição da tectónica na morfologia de uma região vulcânica é essencial para compreender de que forma a dinâmica eruptiva e o tipo de depósitos vulcânicos produzidos determinaram a preservação ou obliteração das formas tectónicas. O conhecimento das relações temporais entre depósitos vulcânicos e movimentações tectónicas é, por sua vez, crucial na compreensão da morfologia e atividade tectónicas. A identificação de paleossolos e a arquitetura e processos de deposição de formações vulcânicas e sedimentares são assim fundamentais na reconstituição da morfologia da escarpa de falha anterior a cada rotura superficial. Esta é a base para a reconstrução da história de atividade de estruturas tectónicas que afetam edifícios vulcânicos.

Apresenta-se neste trabalho uma abordagem multidisciplinar que congrega análise cartográfica e morfoestrutural, assente na interpretação topobatimétrica (ortofotomapas, MDTs, fotografia aérea e observações de campo, batimetria multifeixe, sísmica de reflexão de alta resolução), vulcanoestratigrafia e paleossismologia. A análise desta estrutura sismogénica ativa, que cruza infraestruturas críticas (aeroporto, bases militares das Lajes, depósitos de combustível aeronáutico e a cidade da Praia da Vitória),

é extrema relevância para a economia açoriana, Proteção Civil e segurança da população.

A Falha das Lajes limita a NE o *Graben* das Lajes, principal estrutura tectónica da Terceira (Fig. 1). Com direção N138°, a falha corta o flanco nordeste do extinto vulcão da Serra do Cume-Ribeirinha e as sequências piroclásticas sobrejacentes do extinto vulcão de Guilherme Moniz e do vulcão ativo do Pico Alto. Roturas sucessivas na falha das Laje, ao longo de um máximo de ca.370ka, resultaram numa escarpa de 8300m de comprimento e 30-100m de altura, inclinando até 65° para SW. O traçado da falha é constituído por segmentos escalonados (*En-échelon*) em arranjo dextral (*right-releasing step-overs*), com terminações justapostas, por vezes ligados por estruturas de transferência em rampa (*relay ramps*). A geometria e forte inclinação da falha indicam uma componente de cisalhamento direito. A análise da batimetria e sísmica de reflexão ao largo da ilha (Chiocci *et al.*, 2013) revelam que a Falha das Lajes se estende 13 km para SE, pela Crista Leste da Terceira, com comandos de escarpa de 20-30m.

Relatos coevos do sismo de 24 de maio de 1614 descrevem rotura superficial ao longo de toda a extensão emersa da Falha das Lajes. A análise paleossismológica de cunhas coluvionares expostas numa arriba litoral e numa trincheira revelou 5 paleossismos nos últimos 13,7-14,02ka (cal BP), incluindo a rotura superficial cossísmica de 1614. As

taxas de deslizamento baseadas na separação vertical de níveis de referência variam de 0,15 a 0,5mm/a. Os intervalos entre eventos de rotura naquele período (baseados em datações de radiocarbono) variam entre 500 e 5000a. Esta variação pode refletir fatores como: (1) a não preservação de todas as cunhas de coluvião associadas ao desmantelamento da escarpa, resultando em intervalos de tempo mais longos; (2) interferência do vulcanismo ativo nos processos sismogénicos, desencadeando e antecipando a rotura sísmica; (3) roturas pouco extensas, em resultado da geometria segmentada da falha e da dinâmica de rotura em regiões vulcânicas (sismos superficiais; rotura superficial com magnitude mais baixas; áreas de rotura menores; Serva *et al.*, 2019; Smith *et al.*, 1996). Os deslocamentos produzidos pelas duas últimas roturas superficiais (1,39-1,52ka cal BP e 1614) indicam sismos de M_w 6,6 (Wells & Coppersmith, 1994). Uma

eventual sobrestimação do deslocamento pode dever-se à impossibilidade de distinguir, no registo geológico, deslocamento cossísmico, pós-sísmico e assísmico. Por outro lado, a não contabilização da componente horizontal resulta em magnitudes subestimadas. Considerando o comprimento total emerso e submerso, e uma crosta sismogénica de 15 km (Batista *et al.*, 2022), as M_w obtidas pela correlação com o comprimento de rotura superficial e com a área de rotura são da mesma ordem de grandeza.

Realce-se que, sendo a Falha das Lajes parte do *Graben* das Lajes, o potencial sismogénico da área não se pode restringir a uma estrutura individual. Com efeito, relatos históricos dos efeitos do sismo de 1614 indicam sismicidade desencadeada na Falha das Fontinhas. O mesmo se verifica na sequência do sismo de 12 de junho de 1841, com origem noutra estrutura do *graben*.

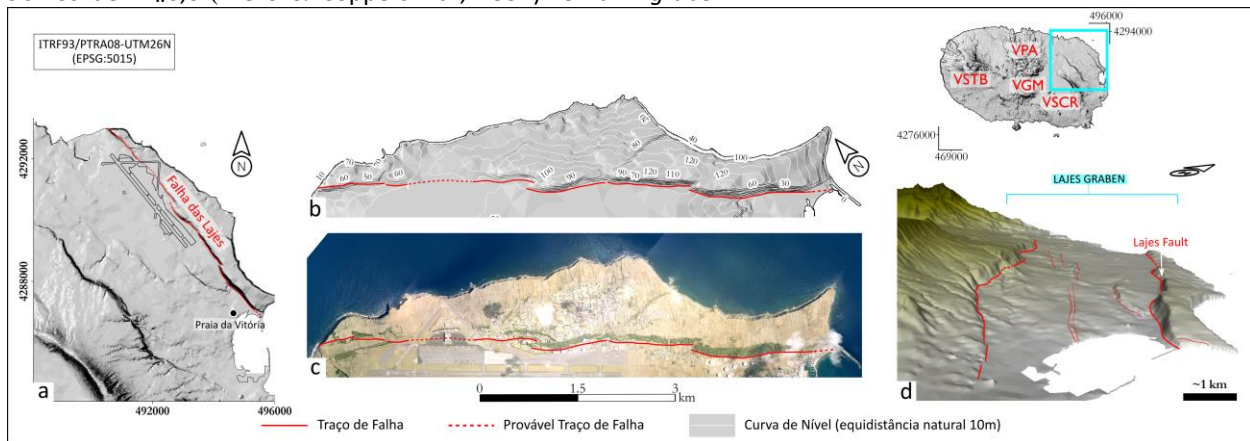


Fig. 1. Localização da Falha das Lajes. VSTB: Vulcão de Santa Bárbara; VPA: Vulcão do Pico Alto; VGM: Vulcão de Guilherme Moniz; VSCR: Vulcão da Serra do Cume-Ribeirinha. **a**: Falha das Lajes no flanco NE do Vulcão Serra do Cume-Ribeirinha; **b**: traçado da falha sobre MDT (Base: Carta Militar de Portugal Série M889, IGeoE 2002); **c**: sobre ortofotomapa (DSCIG); **d**: vista 3D do Graben das Lajes. Sobre-elevação 3x.

Agradecimentos: Trabalhos de campo e de gabinete suportados pelo IVAR (Universidade dos Açores); dados submarinos adquiridos no âmbito do projeto FAIVI (*Eurofleets* n.228344); Ana Hipólito beneficiou da bolsa Doutoral SFRH/BD/73664/2010 da FCT.

Referências

- Wells, D. L. & Coppersmith, K. J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 84(4), 974-1002.
- Serva, L., Livio, F. A. & Gürpinar, A. (2019). Surface faulting and ground deformation: considerations on their lower detectable limit and on FDHA for nuclear installations. *Earthquake Spectra*, 35(4), 1821-1843.
- Chiocci, F. L., Romagnoli, C., Casalbore, D., et al. (2013). Bathymorphological setting of Terceira Island (Azores) after the FAIVI cruise. *J. Maps*, 9, 590-595.
- Smith, R. P., Jackson, S. M., & Hackett, W. R. (1996). Paleoseismology and seismic hazards evaluations in extensional volcanic terrains. *J. Geophys. Res.* 101(B3), 6277-6292.
- Batista, L., Hübscher, C., Terrinha, P., Matias, L., Afilhado, A., Loureiro, A., Weiß, B. (2022). Crustal structure across the São Miguel Island (Azores, North Atlantic) and tectonic implications, *Mar Geophys Res*, 43:41.

Novos mapas magnéticos e inversão 3D da intrusão alcalina de Monchique, e relação com a sismicidade observada

New magnetic maps and 3D inversion of the Monchique magmatic intrusion and relation with the observed seismicity

M. Neres (1,2), G. Camargo (1,3), A. Soares (2,3), S. Custódio (2,3), M. Bos (4,5), B. Martins (4), e P. Terrinha (1,2)

(1) Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA); marta.neres@ipma.pt

(2) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa (IDL)

(3) Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa (FCUL), Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia (DEGGE)

(4) TeroMovigo – Earth Innovation, Lda.

(5) Centro de Investigação em Ciências Geoespaciais, Universidade do Porto (CICGE)

Summary: *The Monchique magmatic complex intruded the Paleozoic South Portuguese Zone as part of the West Iberia Late Cretaceous alkaline province. It hosts the most active seismic cluster of mainland Portugal and also important hydrothermal activity, but the relation between the three factors is not well understood. In this work we use newly acquired magnetic data to map the Monchique magnetic anomaly in detail, and to produce 3D inversion modeling to estimate the shape and extension of the intrusion. Results show that the seismic hypocenters cluster below the bottom depth of the modeled intrusion, and not in its interior. This suggests that seismicity may be controlled by a fracture zone created by or used during magmatic injection, which may also constrain the origin of hydrothermalism.*

Key words: *Monchique, magnetic anomaly, magmatic intrusion, seismic cluster, 3D inversion model*

Palavras-chave: Monchique, anomalia magnética, intrusão magmática, enxame sísmico, inversão 3D

O Complexo Alcalino de Monchique (CAM) pertence ao evento magmático alcalino que afetou o Oeste da Ibéria durante o Cretácico Superior. Juntamente com Sintra e Sines, Monchique é uma das principais manifestações onshore deste evento, cuja origem e mecanismos de intrusão têm sido objecto de estudo desde há décadas. Métodos radiométricos determinaram uma idade de 69-72 Ma para a intrusão (Miranda et al., 2009). À superfície, o complexo é constituído por sienito nefelínico (homogéneo na parte central e heterogéneo no bordo) e por ocorrências menos expressivas de rochas máficas (gabros, hornfels, brechas) (Valadares, 2004), e aflora segundo uma forma elíptica ao longo da direcção ENE-WSW, intruindo rochas metamórficas da Zona Sul Portuguesa (Formação de Fylsch do Carbonífero).

A região de Monchique alberga o enxame sísmico mais activo de Portugal continental (Custódio et al. 2015; Soares, 2018) caracterizado por uma frequência elevada de sismos de baixa magnitude (<4). A localização do enxame sísmico é geralmente relacionada com dois factores: a presença da intrusão magmática e a ocorrência de hidrotermalismo. No entanto, conhece-se pouco sobre a estrutura e

dimensões do corpo magmático, o que torna difícil uma interpretação mais detalhada.

É sabido desde o levantamento aeromagnético de Portugal (Miranda et al., 1989) que Monchique coincide com uma anomalia magnética significativa, mas a elevada altitude (3km) e baixa resolução das linhas de voo (4km de espaçamento) não permitiam um mapeamento da sua variação espacial.

Neste trabalho contribuímos para a caracterização da estrutura tri-dimensional da intrusão magmática de Monchique. Após aquisição e processamento de novos dados, foi possível produzir novos mapas dos campos potenciais magnético e gravítico, e modelar a forma da intrusão magmática através de modelos de inversão 3D da susceptibilidade magnética e densidade (aqui focamos no método magnético).

Em 2020 e 2021 foram realizadas duas campanhas de levantamento de dados aeromagnéticos com drone, a 30m de altitude (Fig. 1a). A partir destes dados produzimos novos mapas que revelam em detalhe a anomalia magnética de Monchique (Fig. 1b, c). A anomalia atinge 2400 nT de amplitude (pico-a-pico), 3 km de c.d.o., e 10 km de extensão E-W.

A elevada resolução deste mapeamento permitiu produzir modelos de inversão 3D para a distribuição

da susceptibilidade, e assim modelar a forma e profundidade da intrusão (Fig. 1d). A amplitude de anomalia mais elevada é registada para a Picota (pico topográfico a Este) mas a intrusão atinge a maior profundidade na Fóia (a Oeste) segundo o modelo. Na Fig. 1d estão representados os hipocentros de sismos instrumentais relocizados por Soares (2018). Estes sismos foram relocizados utilizando os tempos de chegada das ondas sísmicas às estações da rede permanente, e testando vários modelos de velocidade adequados para a região.

A maior concentração de hipocentros define um enxame localizado abaixo da profundidade máxima modelada para a intrusão. Este resultado sugere que a sismicidade não se localiza preferencialmente no interior do corpo intrusivo, mas pode estar a ser controlada pela mesma estrutura (zona de falha) que terá condicionado a injeção magmática, ou que terá sido provocada por ela. Esta zona de fractura poderá condicionar também o hidrotermalismo da região.

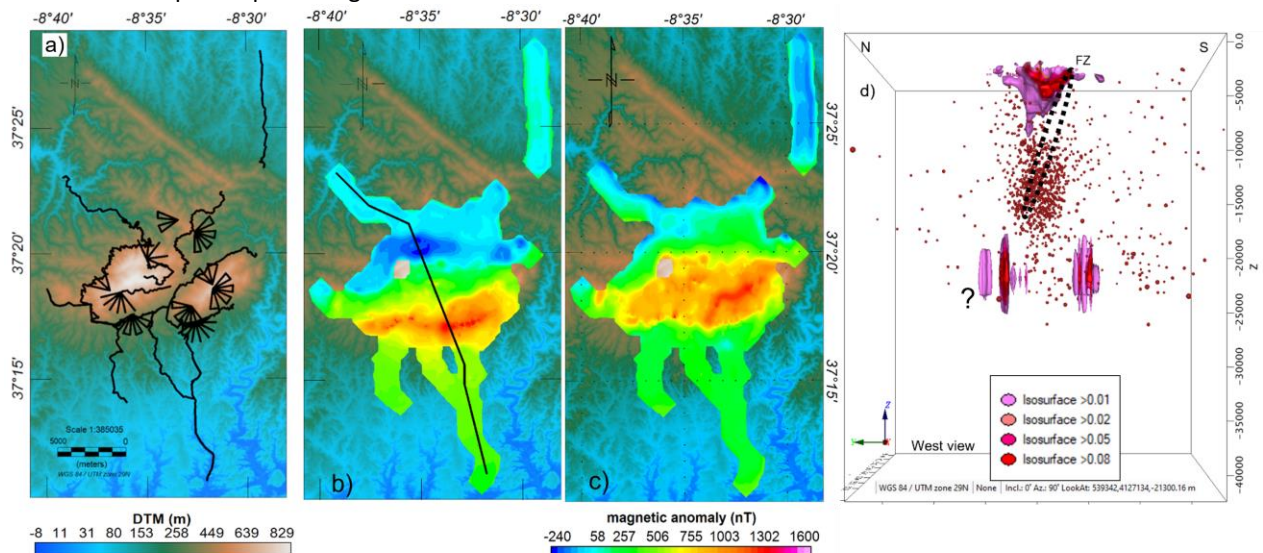


Fig. 1. Novos mapas magnéticos e modelo 3D da intrusão de Monchique. (a) Linhas de voo de drone seguidas para aquisição de dados magnéticos; (b) Anomalia magnética; (c) Anomalia magnética reduzida ao pólo; (d) Modelo de inversão 3D da intrusão magmática: vista 3D a partir de Oeste, cortado ao longo da linha representada em 1b; susceptibilidade em SI. Apenas a parte superior do modelo está bem constrangida. Os círculos vermelhos representam os hipocentros de sismos instrumentais.

Agradecimentos: Agradecemos financiamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. / MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC), projectos UIDB/50019/2020-IDL, ATLAS (PTDC/CTA-GEF/31272/2017), RESTLESS (PTDC/CTA-GEF/6674/2020) e LISA (PTDC/CTA-GEF/1666/2020). Agradecemos ao OGAUC (Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra) por dados do observatório geomagnético COI. G. Camargo agradece a bolsa de investigação (projecto ATLAS) no âmbito da qual desenvolveu a sua tese de Mestrado.

Referências

- Camargo, G. (2022). Magnetic and gravimetric modeling of the Monchique magmatic intrusion in south Portugal. MSc Thesis in Geophysical Sciences, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Custódio, S., et al. (2015). Earthquakes in western Iberia: Improving the understanding of lithospheric deformation in a slowly deforming region. *Geophysical Journal International* 203, 127–145.
- Miranda, R. et al. (2009). Age constraints on the Late Cretaceous alkaline magmatism on the West Iberian Margin. *Cretaceous Research* 30, 575–586.
- Miranda, J.M. et al. (1989). Aeromagnetic anomalies in mainland Portugal and their tectonic implications. *Earth and Planetary Science Letters* 95.
- Soares, A. (2018). Caracterização da Actividade Sísmica de Monchique. MSc Thesis in Geophysical Sciences, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Valadares, V. (2004). O Complexo Alcalino de Monchique: novos dados de cartografia, geoquímica e geocronologia. MSc Thesis in Geology, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Avaliação da suscetibilidade da ilha Terceira (Açores) a perigos vulcânicos

Assessment of Terceira Island (Azores) susceptibility to volcanic hazards

J.M. Pacheco (1), S. Aguiar (1), A. Pimentel (1), T. Ferreira (1), J.L. Gaspar (1), G. Queiroz (1) e C. Goulart (1)

(1) Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), Universidade dos Açores, Edifício do Complexo Científico, 2º Piso – Ala Sul, Rua da Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada

Summary: *Terceira Island has three active volcanic systems, including two central volcanoes and a fissure zone. Terceira's eruptive history over the past 23,000 years has been marked by explosive eruptions of trachytic nature and extrusion of trachytic lavas, as well as basaltic eruptions of low explosivity and hydromagmatic eruptions. This diversity of eruptive styles demonstrates that the island is exposed to a wide range of volcanic hazards. To assess the susceptibility of the island to these hazards, the recent eruptive history of Terceira was analyzed, and these data was used to perform simulations to determine the areas potentially affected by future eruptions.*

Key words: *Volcanic hazards, susceptibility, Terceira Island, Azores*

Palavras-chave: Perigos vulcânicos, Suscetibilidade, Ilha Terceira, Açores

Entende-se por risco vulcânico a probabilidade de ocorrência de um fenómeno ou processo vulcânico, que afete uma determinada área, num determinado intervalo de tempo e com uma determinada severidade (perigosidade) (Tilling, 1989), e a respetiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou o ambiente (vulnerabilidade), expressas em termos de danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos (valor), sendo a sua estimativa dada pela expressão:

$$\text{Risco} = (\text{Perigosidade} \times \text{Vulnerabilidade} \times \text{Valor}) / \text{Capacidade de Resposta}$$

Dada a dificuldade (ou impossibilidade) em estimar a componente temporal e de magnitude da perigosidade, introduz-se o conceito de suscetibilidade, que corresponde à probabilidade de ocorrência de um fenómeno vulcânico, independentemente do seu período de retorno ou magnitude (*i.e.*, a incidência espacial).

O presente trabalho visa a avaliação da suscetibilidade da ilha Terceira face a diferentes perigos vulcânicos através de um conjunto de metodologias que permitiram a elaboração de mapas de suscetibilidade para cada perigo considerado.

A caracterização dos diversos perigos vulcânicos foi feita com base no reconhecimento do registo eruptivo dos sistemas vulcânicos ativos da Terceira,

considerando que todos os tipos de produtos vulcânicos gerados no passado são passíveis de ocorrer novamente no futuro. No presente trabalho consideraram-se para análise da suscetibilidade apenas os perigos vulcânicos diretos, com exceção dos gases vulcânicos.

Para a elaboração dos mapas de suscetibilidade a escoadas lávicas, quer de natureza basáltica (*s.l.*), quer de natureza traquítica (*s.l.*), procedeu-se à determinação das áreas propensas a alojar novos centros eruptivos, através do cálculo de densidade dos centros eruptivos passados, e à simulação da emissão de lavas a partir dessas mesmas áreas fonte, usando para tal um modelo probabilístico baseado no declive máximo (Felpeto, 2001).

Para a elaboração dos mapas de suscetibilidade a piroclastos de queda e de trajetória balística procedeu-se à análise da história eruptiva recente dos sistemas vulcânicos da ilha e à correspondente distribuição destes produtos, focando-se o estudo nas áreas potencialmente afetadas por espessuras de piroclastos de queda iguais ou superiores a 1 m e piroclastos de trajetória balística de dimensão superior a 5 cm. Contudo, tendo por base a dispersão máxima destes produtos optou-se por não se considerar os piroclastos de trajetória balística, uma vez que estes apresentaram um alcance menor do que a área de destruição generalizada definida pela espessura de 1 m de piroclastos de queda.

A determinação das áreas suscetíveis de alojar novos centros eruptivos realizou-se através do cálculo de densidade dos centros eruptivos passados, discriminando centros eruptivos basálticos (*s.l.*) e centros eruptivos traquíticos (*s.l.*).

Tendo por base as áreas fonte e a dispersão máxima de piroclastos de queda, procedeu-se à projeção das áreas de impacto e à elaboração dos mapas de suscetibilidade aos piroclastos de queda produzidos no decorrer de erupções traquíticas (*s.l.*) e basálticas (*s.l.*).

Para a elaboração do mapa de suscetibilidade a escoadas piroclásticas determinaram-se as áreas propensas a alojar novos centros eruptivos associados a erupções com Índice de Explosividade Vulcânica - VEI 4 e 5, através da análise da história eruptiva recente dos sistemas vulcânicos e da geomorfologia dos seus edifícios. Desta análise concluiu-se considerar apenas as situações em que a origem das escoadas piroclásticas está associada à atividade dos vulcões centrais.

Determinados os potenciais centros eruptivos, procedeu-se à simulação da emissão de escoadas piroclásticas a partir destes centros utilizando o modelo do cone de energia (Malin & Sheridan, 1982), resultando na definição de zonas com diferente suscetibilidade à inundação por escoadas piroclásticas.

Para a elaboração do mapa de suscetibilidade a *surges* hidromagmáticos, determinaram-se as áreas propensas a alojar novos centros eruptivos ao longo da faixa costeira da ilha Terceira e, posteriormente, determinou-se o alcance máximo dos *surges* gerados

por erupções hidromagmáticas nesses centros eruptivos.

A análise dos mapas de suscetibilidade aos vários perigos vulcânicos elaborados para a ilha Terceira permitiu concluir que a suscetibilidade aos diferentes perigos vulcânicos não é homogénea, sendo as escoadas lávicas basálticas (*s.l.*) o perigo a que a Terceira é mais vulnerável.

A vulnerabilidade a piroclastos de queda basálticos (*s.l.*) também é elevada numa área muito significativa da ilha. No entanto, atendendo à natureza destes eventos, a área total afetada por uma erupção basáltica (*s.l.*) é normalmente circunscrita a uma zona de poucos quilómetros quadrados em torno do centro emissor. Contrariamente a estas, as erupções explosivas de natureza traquíticas (*s.l.*) podem afetar áreas muito mais vastas.

Outro perigo associado a erupções explosivas traquíticas (*s.l.*) é o desenvolvimento de escoadas piroclásticas que podem ter efeitos devastadores. A quase totalidade da superfície da ilha é suscetível a esse perigo, incluindo a cidade de Angra do Heroísmo e parte da Praia da Vitória.

A análise da suscetibilidade a *surges* hidromagmáticos permitiu ainda verificar que a faixa costeira apresenta diferentes graus de suscetibilidade a esses productos, mais reduzida nas costas altas e alcantiladas e mais elevada noutros locais como por exemplo a região da Angra do Heroísmo.

Referências

- Felpeto, A.; Araña, V.; Ortiz, R.; Astiz, M.; García, A. (2001). Assessment and modelling of lava flow hazard on Lanzarote (Canary Islands). *Natural Hazards*, 23, 247–257.
- Malin, M. C.; Sheridan, M. F. (1982). Computer-assisted mapping of pyroclastic surges, *Science*, 217, 637640.
- Tilling, R. (1989). Volcanic hazards and their mitigation: progress and problems. *Reviews of Geophysics*, 27, 237-269.

The volcano-stratigraphy of Corvo Island, Azores Archipelago

A vulcano-estratigrafia da Ilha do Corvo, Arquipélago dos Açores

R.S. Ramalho (1,2,3), J. Madeira (2), S. Innocentini (2,4,5), R. Quartau (4,2), V. Belvisi (2,4,6) e S. Hemming (3)

(1) School of Earth and Environmental Sciences, Cardiff University, Cardiff, UK, ramalhor@cardiff.ac.uk

(2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz (IDL), Lisboa, Portugal

(3) Lamont-Doherty Earth Observatory (LDEO), Columbia University, Palisades, NY, USA

(4) Instituto Hidrográfico, Divisão de Geologia Marinha, Lisboa, Portugal

(5) Sapienza Università di Roma, Dipartimento Scienze della Terra, Roma, Italy

(6) Università di Bologna, Dipartimento Scienze Biologiche Geologiche ed Ambientali, Bologna, Italy

Sumário: O Corvo, a ilha mais meridional dos Açores, localiza-se na placa Norte Americana, 100 km a W da Crista Média Atlântica. Os esquemas vulcanostratigráficos anteriores consideram 3 unidades: um substrato submarino, o vulcão central e a fajã lávica da Vila do Corvo e respetivos cones. Embora este modelo esteja no geral correto, trabalhos de campo recentes mostram que a estratigrafia da Ilha do Corvo é mais complexa, com 8 unidades separadas por claros hiatos vulcânicos/inconformidades e agrupadas em 3 grupos principais: pré-caldeira (unidades 1-3), sin-caldeira (unidade 4), e pós-caldeira (unidades 5-8). Realça-se que a unidade mais antiga é subaérea, sendo seguida de uma espessa unidade hidromagmática e da unidade subaérea que constitui o grosso do edifício. As nossas observações mostram também que as morfologias mais recentes, pós-caldeira, correspondem a 3-4 episódios distintos. Este estudo realça a complexidade de um vulcão singular pela sua simetria original e presumida evolução geológica simples.

Palavras-chave: Ilha do Corvo, Açores, vulcanostratigrafia, evolução geológica, estudo de campo

Key words: Corvo Island, Azores, Volcano-stratigraphy, geological evolution, field survey

Corvo, the northernmost island of the Azores Archipelago, is located in the stable North American Plate approximately 100 km west of the Mid-Atlantic Ridge. Together with Flores Island, to its south, Corvo's origins cannot be attributed to volcanism along a transient plate boundary (as it happens with most of the central and eastern Azores Islands) and therefore its genesis is attributed to a process more akin to intra-plate hotspot volcanism. Given this context, the detailed knowledge of the geological evolution of Corvo is critical for an overall comprehension of the genesis of the Archipelago.

Corvo's volcanostratigraphy was the focus of previous studies (e.g. Zbyszewski et al., 1967, Dias, 2001, França et al., 2003; Larrea et al., 2013), which distinguished two main stratigraphical entities in the island: (1) the central volcano with a submarine and a subaerial phase and the recent products of monogenetic volcanism (2) that formed the "fajã" where Vila Nova do Corvo stands. França et al. (2003) also suggested a division between pre-, syn- and post-caldera sequences, which we now follow here. The aim of this work is to refine existing stratigraphic

frameworks and establish, in detail, the geological evolution of the island.

A detailed field survey was undertaken in July 2022, covering the whole perimeter of the island. Stratigraphic units were defined according to true stratigraphical criteria, i.e. units correspond to unconformity-bound, geometric-temporal entities that reflect each stage in the evolution of the island. Mapping was also complemented by the analysis of high-resolution multi-beam bathymetry, allowing for a combined onshore/offshore approach. Finally, sampling was also undertaken for posterior laser step-heating $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology at the Lamont-Doherty Earth Observatory noble-gas lab.

Our observations allowed the identification of 8 distinct stratigraphic units grouped in 3 main stages: pre-caldera (units 1-3), caldera (unit 4), and post-caldera (units 5-8), which we present here. The oldest stratigraphic unit (Unit 1) is exposed at the base of the W, and N coastal cliffs, and consists of a succession of mafic a'a lava flows and tephra layers, up to 25 m above sea level. This basal unit is unconformably overlain by a thick succession of

hydromagmatic (surtseyan) tuffs (Unit 2), of mafic to intermediate composition, exposed along the W and N cliffs and up to ~200 m in elevation. This succession is interpreted to have been deposited entirely above sea level, given the lack of clear marine abrasion surfaces and marine sediments at its base. The tuffs are, in turn, unconformably overlain by a voluminous succession of subaerial lava flows and tephra layers (Unit 3) that constitute the bulk of the volcanic edifice (central volcano). As reported by previous studies, the syn-caldera sequence corresponds to a pumice unit (Unit 4), representative of a paroxysmal explosive event that led to the formation of Caldeirão, the central volcanic caldera. This unit is generally poorly preserved, extremely weathered, and is mostly exposed along drainage channels and road cuts, particularly at higher elevations. Finally, the post-caldera sequence corresponds to 4 distinct units, separated by unconformities. The first and oldest corresponds to a cluster of scoria and spatter cones, poorly preserved, at the bottom of Caldeirão (Unit 5). It also includes steeply dipping lava flows that cover the internal slopes of Caldeirão, inferred to be clastogenic in nature. The following unit (Unit 6) corresponds to the bulk of the lava delta of Vila Nova do Corvo, fed from the west flank of Morro da Fonte cone, cascading over the contemporaneous sea cliff. This effusive structure is a single, massive a'a lava flow, with clearly discernible flow ridges and lobes. High resolution bathymetry suggests that sea level at the time of extrusion was at least 60 m lower than today. A third, largely effusive post-caldera episode corresponds to lava flows extruded from the southern flank of Morro da Fonte (Unit 7), forming the spur where the main human settlement is now

located. The final and most recent volcanic unit on Corvo corresponds to the Coroinha cone and effusive products (Unit 8), which constitute the last stage in the formation of the Vila Nova do Corvo "fajã". The products of this stage are well exposed along the SW shore, where a ~20 m-thick pyroclastic sequence and overlying lava flow can be seen draping over Unit 5. This unconformity is marked by the presence of a paleosol and tree moulds (in the tephra), as exposed at Praia de Areia.

Critically our observations demonstrate that the oldest exposed unit is subaerial in nature and therefore should not be considered to represent the emergent (proto-island) stage, as previously suggested. The remains of this stage, if preserved, are not presently exposed, presumably located deeper within the edifice below present-day sea level. The presence of a thick hydromagmatic pyroclastic sequence draping over Unit 1, however, suggests that the edifice was significantly reduced in size (by erosion and island subsidence), allowing for the main vents of the second stage to be underwater, resulting in violently explosive surtseyan activity that led to the construction of a large tuff cone, before the main shield-building stage took place. Moreover, our observations suggest that the post-caldera (post-erosional) volcanic history of Corvo is not restricted to a single event, but rather is the product of 3-4 monogenetic volcanic episodes taking place on a protracted time scale. This study therefore highlights the complexity of a volcano that is singular for its original symmetry and presumably was the product of a simple geological evolution.

Acknowledgements: This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through project PTDC/CTA-GEO/0798/2020 HAZARDOUS and through national funds (PIDDAC) – UIDB/50019/2020- IDL. S.I and V.B also acknowledge their doctoral grants SFRH/BD/07904/2020 and SFRH/BD/146942/2019, respectively.

References

- Dias, J.L.F. (2001) Geologia e tectónica da ilha do Corvo (Açores, Portugal). MSc thesis, Univ. Coimbra, 102 pp.
- França, Z., Nunes, J.C., Cruz, J.V., Duarte, H.F. & Forjaz, V.H. (2003). Estudo preliminar do vulcanismo da Ilha do Corvo, Açores. In: Garcia, F.G. & Valero, J.L. (eds) Proceedings da 3a Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica. Valencia: Univ. Politécnica de Valencia. Vol. 2, 727-730.
- Larrea, P., França, Z., Lago, M., Widom, E., Gale, C. & Ubide, T. (2013) Magmatic processes and the role of antecrysts in the genesis of Corvo Island (Azores Archipelago, Portugal). *Journal of Petrology*, 54(4), 769-793.
- Zbyszewski, G., Medeiros, A., Ferreira, V. O. & Assunção, C.T. (1967) Carta Geológica de Portugal na escala 1:25000, notícia explicativa da folha da ilha do Corvo (Açores). Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.

A deteção sísmica no contexto da monitorização multiparamétrica dos sistemas vulcânicos ativos dos Açores

Seismic detection in the context of multiparametric monitoring of active volcanic systems in the Azores

R. Silva (1,2), R. Marques (1,2), M. Aguiar (1,2), I. Araújo (1,2), S. Armas (1,2), J. Couto (1,2), J. Fonseca (1,2), A. Medeiros (1,2), A. Pimentel (1,2), C. Soares (1,2), V. Soares (1,2), R. Sousa (1,2), T. Ferreira (1,2), J.L. Gaspar (1,2), G. Queiroz (1,2)

(1) Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), Universidade dos Açores, 9501-801 Ponta Delgada, Portugal, rita.am.silva@azores.gov.pt;

(2) Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), Universidade dos Açores, 9501-801 Ponta Delgada, Portugal.

Summary: The Azores archipelago is located in the North Atlantic, where three lithospheric plates (Eurasian, African and North American) contact. Due to their geodynamic setting, the islands are seismically and volcanically active. Since the settlement of the Azores archipelago, several destructive earthquakes and seismic crises with a significant destructive impact have affected the region. Therefore, to protect human lives and mitigate the damages, it is crucial the existence of seismic monitoring networks to characterize and define the baselines of seismic activity at the several volcano-tectonic active systems, aiming for an early warning of any change in the activity recorded. The size and configurations of seismic networks depend on the target area, type of signals that are to be detected, telecommunications facilities, and geology of the site to deploy the equipment. In the case of volcanic islands, their size and shape also strongly influence the final design of the networks.

Key words: monitoring, seismic network, seismic station

Palavras-chave: monitorização, rede sísmica, estação sísmica

O arquipélago dos Açores é constituído por nove ilhas de origem vulcânica, que se distribuem ao longo de uma direção WNW-ESE. As ilhas do Corvo e Flores localizam-se na placa Norte-americana, relativamente estável sob o ponto de vista sísmico, enquanto que as restantes ilhas se localizam numa zona bastante ativa, tanto em termos sísmicos como vulcânicos, correspondente à fronteira entre as placas Euroasiática e a Africana. Desde o seu povoamento, no séc. XV, que os Açores foram assolados por cerca de 30 sismos destruidores e inúmeras crises sísmicas (com origens tectónica e/ou vulcânica), resultando em milhares de vítimas mortais e avultados danos materiais.

A sismicidade no arquipélago distribui-se, essencialmente, ao longo da Crista Média-Atlântica e do Rift da Terceira, com especial destaque neste último para as Fossas de Hirondelle e Povoação e a zona a SE da ilha Terceira. O ano de 2022 foi particularmente atípico, com a ocorrência de duas crises sismovulcânicas, nas ilhas de São Jorge e Terceira (Vulcão de Santa Bárbara), marcadas por milhares de sismos registados (fig. 1).

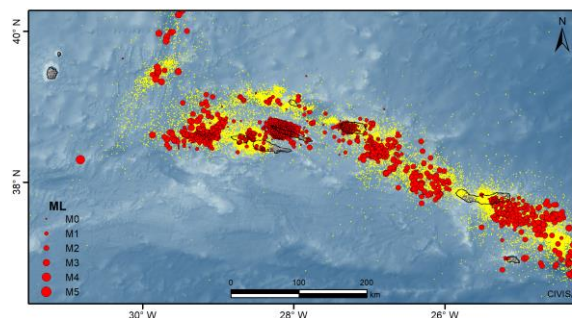


Fig. 1. Sismicidade registada no arquipélago entre 1997 e 2022. Os pontos a amarelo representam a sismicidade registada entre 1997 e 2021 e os pontos a vermelho a sismicidade registada em 2022.

A sismicidade associada a regiões vulcânicas ocorre, frequentemente, sob a forma de enxames sísmicos (*seismic swarms*), caracterizados pela baixa magnitude dos eventos. A ocorrência de enxames sísmicos em regiões vulcânicas tem sido atribuída à movimentação subsuperficial de magma (e.g. Spicák & Horálek 2001; Hensch *et al.* 2008) e/ou associada à circulação de fluídos hidrotermais através de fissuras (e.g. Farrel *et al.* 2009), conferindo diferentes

assinaturas espectrais aos sismos. Esta variabilidade de sinais impõe a existência de redes de monitorização sismovulcânica com uma grande cobertura e capacidade de deteção.

A configuração das redes sísmicas em regiões vulcânicas ativas é fortemente influenciada pela localização e natureza dos sistemas vulcano-tectónicos alvo de monitorização, pela geologia e acessibilidade aos locais onde importa instalar as estações, pela ausência de fontes de ruído antropogénico que possa mascarar o sinal sísmico e pela facilidade de transmissão dos dados em tempo real para um ponto central (onde são processados e armazenados). Em ilhas, a própria geometria destas condiciona muitas vezes a distribuição espacial das estações sísmicas. No caso particular da rede sísmica dos Açores, as primeiras estações foram instaladas em 1902, uma localizada em Ponta Delgada, no Observatório Afonso Chaves, e outra no Observatório Príncipe Alberto do Mónaco, na Horta. Em 1932 foi instalada uma terceira estação em Angra do Heroísmo, no Observatório José Agostinho (Senos et al. 1997). Após o sismo de 1980, e no seguimento do Projeto Geotérmico dos Açores, a Universidade dos Açores (UAc) passou a gerir uma rede sísmica no arquipélago. Nessa altura, também o Instituto de Meteorologia (IM, atual IPMA) desenvolveu a rede sísmica analógica que geria. Fruto de um protocolo estabelecido entre a UAc e o IM, entre 1997 e 2007 tais redes foram integradas num sistema único, gerido em parceria sob a égide do SIVISA. A necessidade de se garantir na Região uma rede sísmica especialmente vocacionada para a monitorização sismovulcânica levou o Governo Regional dos Açores e a UAc, em 2008, a fundarem o Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), que em estreita colaboração com o Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR) gerem, atualmente, uma rede sísmica com 37 estações, em que 4 são de banda larga e 33 de curto período, com sensores de 1 e 5 s (fig. 2).

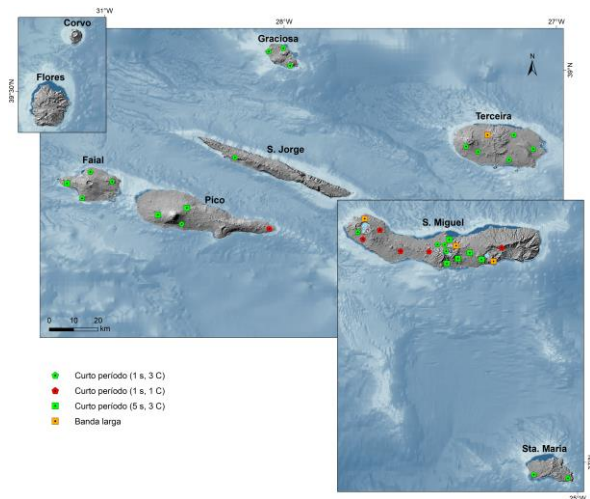


Fig. 2. Rede sísmica permanente dos Açores.

Para fazer face a situações de incremento de atividade sísmica, o IVAR/CIVISA dispõe de estações sísmicas portáteis (banda larga e curto período) que permitem complementar a rede sísmica permanente sempre que se justifica. Foi o que se verificou em 2022 aquando do início das crises sismovulcânicas registadas na ilha de S. Jorge e na ilha Terceira, por forma a garantir um melhor grau de deteção de microssismos e uma maior precisão das respetivas localizações hipocentrais. No caso de S. Jorge, à estação sísmica de curto período ali existente juntaram-se outras 5 para melhorar a cobertura do sistema vulcânico fissural das Manadas, alvo de reativação. Na ilha Terceira, mais concretamente ao nível do vulcão central de Santa Bárbara e do sistema fissural que o atravessa, a rede sísmica foi reforçada com 2 novas estações. De salientar que a rede sísmica do IVAR/CIVISA é parte integrante de um sistema de monitorização multiparamétrico. No Centro de Aquisição de Dados (CAD) do CIVISA é integrada a informação proveniente de várias redes de monitorização sismovulcânica (geofísica, geoquímica, geodésica e meteorológica), o que permite uma interpretação mais abrangente e completa dos sistemas vulcânicos ativos dos Açores para apoio às decisões de proteção civil.

Referências

- Farrel, J., Husen, S. & Smith, R. (2009) - Earthquake swarm and the b-value characterization of the Yellowstone volcano-tectonic system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 188, 260 – 276
- Hensch, M., Riedel, C., Reinhardt, J. & Dahm, T. & The Nice-People (2008) - Hypocenter migration of fluid-induced earthquake swarms in the Tjörnes Fracture Zone (North Iceland). *Tectonophysics*, 447, 80 – 94.
- Senos, M.L., Gaspar, J.L., Carrilho, F., Queiroz, G., Alves, P., Ferreira, T. (1997) - Estrutura do Sistema de Vigilância Sismológica dos Açores (SIVISA). "III Encontro de Sismologia e Engenharia Sísmica". Lisboa, Instituto Superior Técnico, dezembro (Poster), Departamento de Geociências, Universidade dos Açores.
- Spicák, A. & Horálek, J. (2001) - Possible role of fluids in the process of earthquake swarm generation in the West Bohemia/Vogtland seismoactive region. *Tectonophysics*, 336, 151 –161.

A crise sísmica de fevereiro de 2018 na ilha de São Miguel, Açores

The February 2018 seismic swarm in the island of São Miguel, Azores

A. Soares (1), S. Custódio (1), S. Cesca (2), R. Silva (3), A. Vuan (4) e V. Mendes (1)

(1) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, analdyne.soares@campus.ul.pt

(2) GFZ German Research Center for Geosciences, Potsdam, Alemanha.

(3) CIVISA Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores, S. Miguel Island - Azores, Portugal.

(4) OGS National Institute of Oceanography and Applied Geophysics, Trieste, Itália.

(5) INGV National Institute of Geophysics and Vulcanology, Roma, Itália.

Summary: *In this work we implement an automated workflow, based on the analysis of seismic waveforms, to study the February 2018 seismic crisis in the island of S. Miguel, Azores. Our workflow consists on earthquake detection, location, magnitude estimation, clustering based on waveform similarity and augmentation of the catalog based on template matching. We further characterize the focal mechanisms of selected events by moment tensor inversion. Our results show the detailed spatio-temporal evolution of seismicity during the crisis, which seems to be related to the intrusion of fluids, and which is followed by period of surface deformation.*

Key words: *Seismicity, S. Miguel, Azores, volcanism.*

Palavras-chave: Sismicidade, S. Miguel, Açores, vulcanismo.

Em fevereiro de 2018, uma crise sísmica ocorreu na ilha de S. Miguel, no arquipélago dos Açores. Os Açores estão localizados na junção tripla entre as placas norte-americana, eurasiática e núbica e compreendem 9 ilhas povoadas de origem vulcânica. S. Miguel é a ilha maior e mais populosa e a que é apresenta actividade sísmica com maior frequência (Silva et al, 2012, 2015, 2021). Este trabalho apresenta um estudo detalhado da crise sísmica de Fevereiro de 2018, a mais recente em S. Miguel.

Neste trabalho, realizámos uma análise automatizada de dados sísmicos contínuos de forma de onda utilizando estações permanentes do IPMA e CIVISA. O nosso procedimento inclui a detecção e localização dos sismos utilizando a retro projecção de funções características baseadas em formas de onda, a estimativa de magnitude com base numa única estação, a caracterização de sismos semelhantes com base nas formas de onda, e *template matching* para ampliar e completar o catálogo. Calculámos ainda soluções do tensor de momento para alguns eventos seleccionados.

Com este procedimento, identificámos três famílias de sismos com formas de onda semelhantes. A primeira inclui eventos que ocorreram durante uma

fase precursora de 7 dias. As formas de onda apresentam ondas P e S de alta frequência, típicas de falhas frágeis. Uma segunda família foi activada a 12 de Fevereiro, quando a taxa sísmica aumentou abruptamente, e o sismo de maior magnitude (M3,7) foi registado. As formas de onda desta família têm um conteúdo de frequência mais baixo do que as da primeira. Finalmente, foi activada uma terceira família, com um número de eventos muito inferior. Estas formas de onda têm um carácter mais harmónico. Da primeira à última família, os terramotos tornam-se ligeiramente mais superficiais (15 km para 7-10 km) e migram para SE. Os mecanismos focais indicam falhas na sua maioria normais. Interpretamos a primeira família como correspondendo a fracturação em profundidade, que é seguida pela activação de estruturas mais superficiais (2ª família), e finalmente por eventos que ocorrem já num ambiente rico em fluidos (3ª família). Curiosamente, esta crise sísmica marcou o início de um período de deformação assísmica da superfície, observado em GPS, durante os 17 meses subsequentes, registada pela rede permanente REPRAA.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) – IDL (UIDB/50019/2020) e RESTLESS (PTDC/CTA-GEF/6674/2020).

Referências

- Silva, R., Havskov, J., Bean, C., & Wallenstein, N. (2012). Seismic swarms, fault plane solutions, and stress tensors for São Miguel Island central region (Azores). *Journal of Seismology*, 16(3), 389–407. <https://doi.org/10.1007/s10950-012-9275-x>
- Silva, R., Ferreira, T., Medeiros, A., Carmo, R., Luis, R., Wallenstein, N., Bean, C., & Sousa, R. (2015). Seismic activity on São Miguel Island volcano-tectonic structures (Azores archipelago). *Geological Society Memoir*, 44(1), 227–238. <https://doi.org/10.1144/M44.17>
- Silva, R., Carmo, R., & Marques, R. (2021). Characterization of the tectonic origins of historical and modern seismic events and their societal impact on the azores archipelago, Portugal. In *Geological Society Special Publication* (Vol. 501, Issue 1, pp. 245–267). Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/SP501-2019-106>.

Rede permanente de monitorização de gases vulcânicos do arquipélago dos Açores

Volcanic gases permanent monitoring network at the Azores archipelago

F. Viveiros (1,2), C. Silva (1,3), L. Moreno (1,3), B. Medeiros (1,3), S. Oliveira (1,3), D. Matias (1,3),
H. Cruz (1,3), A. Montalvo (1,3) e C. Primo (1,3)

(1) Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), Universidade dos Açores,

maria.fb.viveiros@azores.gov.pt

(2) Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade dos Açores

(3) Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA)

Summary: *The permanent gas geochemistry monitoring network of the Azores archipelago started to be implemented in 2001 with the installation of the first soil CO₂ flux station at Furnas Volcano (São Miguel, Azores). Currently, eight permanent CO₂ flux stations are installed in four of the nine islands of the archipelago, namely São Miguel, Terceira, Graciosa and São Jorge islands. These stations perform measurements based on the accumulation chamber method and have coupled several environmental sensors to measure barometric pressure, air temperature, air relative humidity, rainfall, soil water content and soil temperature, as well as wind speed and direction. Two soil CO₂ concentrations stations are also installed, and all these instruments are used for monitoring the active volcanoes of the islands. Considering the possible impact volcanic gases can have on the human health, fifty-two CO₂, three H₂S and five ²²²Rn detectors are permanently monitoring air quality in various buildings and caves.*

Key words: *volcanic gases, permanent monitoring, carbon dioxide, radon, Azores archipelago*

Palavras-chave: gases vulcânicos, monitorização permanente, dióxido de carbono, radão, arquipélago dos Açores

Desde o povoamento das ilhas, no século XV, o arquipélago dos Açores foi afetado por 31 sismos destruidores e 28 erupções vulcânicas. A última erupção ocorreu no mar a cerca de 10 km a noroeste da ilha Terceira no período entre 1998-2001 (Gaspar *et al.*, 2015). Atualmente, para além da ocorrência de enxames sísmicos e períodos de deformação crustal, a atividade no arquipélago é dominada por manifestações secundárias de vulcanismo que incluem fumarolas hidrotermais, nascentes termais e de água gasocarbónica, assim como áreas de desgaseificação difusa (*e.g.*, Ferreira *et al.*, 2005). Estas últimas ocorrem de forma invisível e permanente através dos solos, sendo o dióxido de carbono (CO₂) e o radão (²²²Rn) os principais gases emitidos, e detetáveis apenas com instrumentação específica. As fumarolas hidrotermais apresentam temperaturas máximas de 100 °C e os campos fumarólicos mais relevantes localizam-se nos vulcões das Furnas e Fogo (São Miguel), Pico Alto (Terceira) e Caldeira (Graciosa). Detetaram-se também emissões de vapor no Vulcão da Montanha do Pico e no cone dos Capelinhos (Faial). A monitorização da atividade vulcânica nos Açores está assente na integração de informação proveniente de várias técnicas, nomeadamente ao nível da geofísica (sismicidade, infrassons, deformação crustal), e da geoquímica de gases e águas. A monitorização efetuada pelo IVAR – Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos da Universidade dos Açores, e pelo CIVISA -

Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores, assenta em medições com carácter regular e permanente. No que diz respeito à rede permanente de monitorização de gases vulcânicos dos Açores, esta começou a ser implementada em outubro de 2001 com a instalação da primeira estação de medição de fluxo de CO₂ na área envolvente ao campo fumarólico da freguesia das Furnas (Vulcão das Furnas, ilha de São Miguel) (Viveiros *et al.*, 2008). Atualmente encontram-se instaladas oito estações deste tipo: quatro na ilha de São Miguel (duas no Vulcão das Furnas e duas no Vulcão do Fogo), duas na ilha Terceira (Furnas do Enxofre, Vulcão do Pico Alto), uma na ilha Graciosa (Furna do Enxofre, Vulcão da Caldeira) e uma na ilha de São Jorge (Sistema Vulcânico Fissural de Manadas). Estas estações efetuam medições segundo o método da câmara de acumulação (Chiodini *et al.*, 1998). Considerando que a emissão de gases a partir dos solos pode ser significativamente influenciada por variações meteorológicas (Viveiros *et al.*, 2008; 2009; 2015; Oliveira *et al.*, 2018), cada estação tem acoplada uma estação meteorológica que efetua medições da pressão barométrica, velocidade e direção do vento, humidade relativa do ar, temperatura do ar, pluviosidade, humidade e temperatura do solo. Estas estações efetuam medições de forma automática e transmitem os dados para as instalações do IVAR através de GSM, rádio e/ou internet. No que respeita à quantificação de gases no solo em áreas de

desgaseificação difusa, uma estação permanente de medição da concentração de CO₂ e temperatura do solo encontra-se instalada na área das Caldeiras da Ribeira Grande (Vulcão do Fogo, São Miguel) desde 2012. Em fevereiro de 2023 foi instalada uma estação semelhante no flanco SE do Vulcão de Santa Bárbara (ilha Terceira). Para além de potencial precursor de atividade vulcânica, devido à sua baixa solubilidade nos líquidos silicatados, o CO₂ é também um gás asfíxiante e a sua acumulação em ambientes interiores, depressões ou caves pode resultar em concentrações letais. Na caverna lávica da Furna do Enxofre (ilha Graciosa), faleceram dois visitantes em 1992, devido a concentrações de CO₂ superiores a 20%vol. (Viveiros *et al.*, 2016). Em 2002 foi instalado um sistema protótipo da qualidade de ar nesta cavidade vulcânica, sendo o mesmo atualmente constituído por três detetores localizados em cotas distintas da caverna. Em 2012 o sistema foi reproduzido na zona das Caldeiras da Ribeira Grande na ilha de São Miguel com a instalação de 49 detetores de CO₂ no interior de edifícios. Estes detetores têm associados sistemas de alarme de forma a alertar a população sempre que os valores de CO₂ atinjam concentrações consideradas perigosas

em termos de saúde pública. Em 2017 foram instalados três detetores de sulfureto de hidrogénio (H₂S) num dos edifícios desta zona. O gás radioativo radão (²²²Rn) é também um dos principais voláteis a considerar em áreas de desgaseificação difusa e está frequentemente associado à emissão de CO₂ (Silva *et al.*, 2015). A Organização Mundial de Saúde (OMS) associa a presença deste gás à incidência de cancro de pulmão (Silva *et al.*, 2015 e referências nele citadas.), sendo a sua monitorização em ambientes interiores de particular importância. Nesta sequência, a rede de monitorização permanente de gases vulcânicos contempla duas estações de radão na ilha de São Miguel (Vulcão das Furnas e Sistema Vulcânico Fissural dos Picos) e três estações na ilha de São Jorge, no Sistema Vulcânico Fissural de Manadas, as quais foram instaladas ao longo do ano de 2022 de forma a contribuir para a monitorização da crise sismovulcânica em curso na ilha de São Jorge desde março do mesmo ano. A rede permanente instalada no arquipélago dos Açores revela-se fundamental quer para a monitorização sismovulcânica, quer para a avaliação do perigo em termos de saúde pública.

Agradecimentos: As redes de monitorização resultam de financiamentos do Governo Regional dos Açores, da empresa EDA Renováveis S.A. e do projeto INTERREG VOLRISKMAC II.

Referências

- Chiodini, G., Cioni, R., Guidi, M., Raco, B. & Marini, L. (1998). Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas. *Applied Geochemistry*, 13: 543-552.
- Ferreira, T., Gaspar, J. L., Viveiros, F., Marcos, M., Faria, C. & Sousa, F. (2005). Monitoring of fumarole discharge and CO₂ soil degassing in the Azores: contribution to volcanic surveillance and public health risk assessment. *Annals of Geophysics*, 48, 787-796.
- Gaspar, J.L., Queiroz, G., Ferreira, T., Medeiros, A.R., Goulart, C. & Medeiros, J. (2015). Earthquakes and volcanic eruptions in the Azores region: geodynamic implications from major historical events and instrumental seismicity, in *Volcanic Geology of S. Miguel Island (Azores archipelago)*, eds J. L. Gaspar, J. E. Guest, A. M. Duncan, F. J. A. S. Barriga, and D. K. Chester (London: Geological Society, London, Memoirs), 44: 33–49.
- Oliveira, S., Viveiros, F., Silva, C. & Pacheco, J.E. (2018). Automatic filtering of soil CO₂ flux data; different statistical approaches applied to long time series. *Frontiers in Earth Science*, 6: 208.
- Silva, C., Viveiros, F., Ferreira, T., Gaspar, J. L. & Allard, P. (2015). Diffuse soil emanations of radon and hazard implications at Furnas Volcano, São Miguel Island (Azores), in *Volcanic Geology of S. Miguel Island (Azores archipelago)*, eds J. L. Gaspar, J. E. Guest, A. M. Duncan, F. J. A. S. Barriga, and D. K. Chester (London: Geological Society, London, Memoirs), 44: 197-211.
- Viveiros, F., Ferreira, T., Cabral Vieira, J., Silva, C. & Gaspar, J.L. (2008). Environmental influences on soil CO₂ degassing at Furnas and Fogo volcanoes (São Miguel Island, Azores archipelago). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 177: 883-893.
- Viveiros, F., Ferreira, T., Silva, C. & Gaspar, J.L. (2009). Meteorological factors controlling soil gases and indoor CO₂ concentration: a permanent risk in degassing areas. *Science of Total Environment*, 407: 1362-1372.
- Viveiros, F., Ferreira, T., Silva, C., Vieira, J. C., Gaspar, J. L., Virgili, G. & Amaral, P. (2015). Permanent monitoring of soil CO₂ degassing at Furnas and Fogo volcanoes (São Miguel Island, Azores). *Volcanic Geology of São Miguel Island*. London, The Geological Society, 44: 271–288.
- Viveiros, F., Gaspar, J.L., Ferreira, T. & Silva, C. (2016). Hazardous indoor CO₂ concentrations in volcanic environments. *Environmental Pollution*, 214: 776-786.

A utilização de infrassons na monitorização sismovulcânica. Estado da arte no arquipélago dos Açores

The use of infrasound in seismovolcanic monitoring. State of the art in the Azores archipelago

N. Wallenstein (1), S. Matos (1), M. C. Jesus (1) e A. Montalvo (1,2)

(1) Universidade dos Açores, Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), Rua da Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Açores, Portugal, nicolau.mb.wallenstein@azores.gov.pt

(2) Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), Rua da Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Açores, Portugal

Summary: *The first references to infrasound records associated with explosive volcanic activity date back to the 1883 Krakatoa volcano eruption. Pioneer research works on infrasound associated with important volcanic eruptions were developed in the 60s to 80s of the 20th century. However, it was with the signing of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT) that infrasound studies have experienced a major development. The installation of the IS42 infrasound station on Graciosa Island, under the CTBT verification regime, allowed IVAR to start applying this research technique towards its integration in its monitoring networks. The detection of remote explosive eruptive activity (thousands of kilometres away) by IS42 station gave us good results. Moreover, the monitoring of the 2022 seismovolcanic crisis on São Jorge Island, with the installation of the SJ1 infrasound mobile array in conjunction with the IS42 station, has allowed us to integrate its results in the IVAR monitoring efforts.*

Key words: *seismovolcanic monitoring, infrasound, azores, IS42, São Jorge*

Palavras-chave: monitorização sismovulcânica, infrassons, Açores, IS42, São Jorge

Introdução

As erupções vulcânicas explosivas são uma importante fonte de infrassons (Johnson *et al.* 2004). No estudo da dinâmica eruptiva, as diferenças de pressão nos fluidos magmáticos são transferidas para as rochas encaixantes sob a forma de energia sísmica, dando origem a sinais de baixa frequência característicos da sismicidade vulcânica. Quando essas variações de pressão ocorrem em zonas muito superficiais, ou quando a conduta vulcânica já se encontra aberta é que a exsolução violenta dos gases vulcânicos produz perturbações atmosféricas que geram sinais acústicos de grande amplitude e baixa frequência (Fee e Matoza, 2013). Desta forma, para além de ser possível monitorizar os sinais das perturbações acústicas provocadas pela interação entre as vibrações sísmicas superficiais e a atmosfera (sismo-acústicos), os sinais infrassónicos são mais eficazes na localização e caracterização dos episódios eruptivos explosivos e na quantificação das variações de pressão, comparativamente aos sinais sísmicos, os quais são gerados em processos vulcânicos superficiais e internos (Johnson e Ripepe, 2011). Foi com a assinatura do Tratado de Proibição Total de Ensaio Nucleares (CTBT), em 1996, e com a

instalação de 60 estações de infrassons no Sistema Internacional de Monitorização (IMS), do regime de verificação da Comissão Preparatória da Organização

do Tratado de Proibição Total de Ensaio Nucleares (CTBTO), que o conhecimento obtido pelo estudo dos infrassons associado a diferentes tipos de fontes se desenvolveu consideravelmente (Campus e Christie, 2010, Matoza e Fee, 2018).

Estações de infrassons nos Açores

Integrada no IMS, a estação de infrassons IS42 foi instalada na ilha Graciosa em 2010 (Wallenstein *et al.* 2011). Trata-se de um *array* de 8 microbarómetros de pressão absoluta de alta frequência com capacidade de detetar diferenças de pressão na atmosfera inferiores a 1 mPa, estando ligados por fibra óptica ao Edifício Central (CF), numa geometria pentagonal exterior com abertura de 1510 m e triangular interior de 200 m. No CF os dados são autenticados e transmitidos para Viena, via satélite.

Desde abril de 2022, no decurso da crise sismovulcânica na ilha de São Jorge, está instalado na zona dos Rosais, naquela ilha, um *array* portátil de infrassons (SJ1) composto por 4 transdutores de pressão diferencial configurados espacialmente

numa geometria triangular com um elemento no centro e uma abertura de 130 m. Juntamente com a estação IS42, tem contribuído para a monitorização de uma eventual reativação do Sistema Vulcânico Fissural de Manadas (Jesus et al, 2023).

Deteção de erupções remotas

Sinais infrassónicos de erupções dos vulcões Etna e Stromboli, em Itália, e Grímsvötn, na Islândia, têm sido registados pela estação IS42. Muitas dessas deteções foram correlacionadas com deteções de outras estações do IMS, bem como de observações locais e registos em estações locais (Matos et al. 2019 a, b, Matos et al. 2020). No caso da erupção do vulcão Stromboli, ocorrida a 3 de julho de 2019, foi

possível, para efeitos de teste, determinar uma localização grosseira dos eventos eruptivos, só com o recurso a estações de infrassons do IMS, nomeadamente as estações (Matos et al. 2020).

Crise sismovulcânica da ilha de São Jorge

Com o início de uma crise sismovulcânica no Sistema Vulcânico Fissural de Manadas, no dia 19 de março de 2022, marcado por um aumento brusco de sismicidade e a evidência de deformação crustal, a instalação do *array* SJ1, em colaboração com a Universidade de Florença (UniFI), Itália (Jesus et al., 2023), permitiu estabelecer, até ao presente, correlações entre duas deteções dos *arrays* IS42 e SJ1 com dados da sismicidade em ambos os eventos (Matos et al., 2023).

Agradecimentos: A manutenção e operação da estação IS42 são suportadas pelo contrato CTBTO N.º 2012-1694. O *array* SJ1 foi cedido pelos colegas Emanuelle Marchetti, Duccio Gheri e Giacomo Belli da Universidade de Florença (UniFI), que colaboraram na sua instalação e processamento de dados.

Referências

- Campus, P. & Christie, D. (2010). Worldwide Observations of Infrasonic Waves. In: Le Pichon A., Blanc E., Hauchecorne A. (eds.) *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*. Springer, Dordrecht. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9508-5_6, 181-230.
- Fee, D. & Matoza, R. (2013). An Overview of Volcano Infrasound: From Hawaii to Plinian, Local to Global. *Journ. Volcanol. Geotherm. Res.*, 249, 123-139.
- Jesus, M.C., Belli, G., Gheri, D., Matos, S., Wallenstein, N., Montalvo, A. & Marchetti, E. (2023). 2022 São Jorge Island (Azores) seismovolcanic crisis: deployment of a mobile infrasound array (SJ1) for local monitoring purposes. *ITW 2022: Infrasound Technology Workshop*, Ponta Delgada, Portugal, 30 January - 3 February .
- Johnson, B. J., Aster, R. & Kyle, P. (2004). Volcanic eruptions observed with infrasound. *Geophysical Research Letters*, 31, L17604, 4p.
- Johnson, B. J. & Ripepe, M. (2011). Volcano infrasound: A review. *Journ. Volcanol. Geotherm. Res.*, 206, 61-69.
- Matos, S., Gheri, D., Belli, G., Jesus, M.C., Wallenstein, N. & Marchetti, E. (2023). 2022 São Jorge Island (Azores) seismo-volcanic crisis: infrasound radiation by low magnitude earthquakes. *ITW 2022: Infrasound Technology Workshop*, Ponta Delgada, Portugal, 30 January - 3 February.
- Matos, S., Wallenstein, N., Marchetti, E. & Ripepe, M. (2020). Location of Stromboli volcano July 2019 paroxysm event based on long-range infrasound detections in several IMS stations, *EGU General Assembly 2020*, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-10156, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-10156>.
- Matos, S., Wallenstein, N. & Campus, P. (2019a). Analysis of multiple detections of May 2011 Grímsvötn (Iceland) eruptive activity at different IMS infrasound stations and its correlation with local source observations. *CTBT: Science and Technology 2019 Conference Book of abstracts*, 6, Vienna, Austria, 24-28 June.
- Matos, S., Wallenstein, N., Campus, P., Marchetti, E. & Ripepe, M. (2019b). Analysis of multiple detections of Mount Etna eruptive activity at different IMS infrasound stations compared with near source observations. *CTBT: Science and Technology 2019 Conference Book of abstracts*, 7. Vienna, Austria, 24-28 June.
- Matoza, R. S. & Fee, D. (2018). The inaudible Rumble of Volcanic Eruptions. *Acoustics Today*, 14-1, 17-25.
- Wallenstein, N., Gaspar, J.L., Kramer, A., Carvalho, J., Campus, P., Haralabus, G., Gregório, J., Mialle, P. & IS42 Team (2011). IS42 Graciosa (Azores): A new IMS certified infrasound station in the North Atlantic. *EGU General Assembly 2011*, Vienna Austria, 03-08 April 2011.

SESSÃO CIENTÍFICA 9 (SC_9)
(Geofísica)

Conveners: Fernando P. Figueiredos; Luís Matias; Luís Pinheiro

Prospecção Geofísica aplicada à caracterização hidrogeológica e geotécnica da massa de água mineral das Corgas do Buçaco - Penacova

Geophysical prospecting applied to the hydrogeological and geotechnical characterization of the mineral water mass of Corgas do Buçaco - Penacova

C. S. Almeida Rocha (1), F. P. Figueiredo (2), L. Catarino (2), J. M. Azevedo (3) e N. Rodrigues (2)

(1) Universidade de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA), Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), carla.s.rocha@tecnico.ulisboa.pt

(2) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências (CGEO), Departamento de Ciências da Terra.

(3) Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço (CITEUC), Departamento de Ciências da Terra.

Summary: *The application of geophysics methods, such as electrical resistivity tomography and electromagnetic prospecting in the frequency domain, provide knowledge of the aquifer in the fractured environment of the Buçaco syncline. The main structural discontinuities present in this area have NE-SW, NNE-SSW, N-S, NW-SE, NNW-SSE attitudes with a main sub-vertical tendency to the East.*

Key words: *electrical resistivity tomography, electromagnetic prospecting, Corgas do Buçaco, natural mineral water*

Palavras-chave: tomografia de resistividade eléctrica, prospecção electromagnética, Corgas do Buçaco, água mineral natural

Introdução: O método electromagnético, no domínio da frequência, assim como, os métodos da resistividade eléctrica, com o dispositivo de medida Dipolo-Dipolo são adequados para a detecção de discontinuidades que facilitam a percolação das águas no subsolo preenchidas por minerais de argila e óxidos saturados o que contribui para o estudo e caracterização geológico-estrutural dos recursos hídricos.

Enquadramento: A área que aqui se apresenta respeita às Corgas do Buçaco que, se localiza no flanco SW do sinclinal Paleozóico geologicamente assimétrico do Buçaco-Penacova, no domínio autóctone da Zona Centro Ibérica, na Unidade Hidrogeológica do Maciço Antigo (Azevedo *et al.*, 2008; Rocha *et al.* 2019).

Metodologia: Desenvolveram-se trabalhos de campo que incidiram na realização de 5 perfis (SL1 a SL5) com aquisição de dados apartir da prospecção electromagnética efetuada com os condutímetro Geonics EM31 e EM34 que proporcionam uma profundidade de investigação até aos 50 m aproximadamente (Figueiredo *et al.* 2009, Figueiredo *et al.* 2010). A realização de 2 perfis (SL6 e SL7) pela tomografia de resistividade eléctrica com os dispositivos de medida Dipolo-Dipolo, (com

espaçamento de 10 m) para identificação de estruturas verticais, desenvolvida com o resistímetro ABEM Terrameter SAS 300B (acoplado de multicabos e caixa de comutação) (Figueiredo & Catarino 2009; Rocha, 2012; Rocha *et al.* 2019).

Discussão: Da interpretação das secções obtidas nas campanhas de prospecção geofísica na área das Corgas (Fig. 1) poder-se-á depreender que os locais mais evidentes da possível presença da percolação das águas subterrâneas se encontrarão nas secções SL1, SL2, SL5, com valores de elevada condutividade de 27 mS/m, aos 50 m de profundidade. Nas secções SL6 e SL7 as discontinuidades com valores baixos de resistividades ocorrem aos 215 m da origem, com 50 m de profundidade e aos 290 m da origem com 30 m de profundidade no perfil SL6 e no SL7 aos 100 m de profundidade dos 230 m da origem, com 10 ohm.m.

Conclusões: As discontinuidades condutivas e com valores de baixa resistividade exibem direcções que variam entre N-S, NW-SE, NNW-SSE, NNE-SSW com pendores subverticais principais para Este. As discontinuidades podem estar relacionadas com fracturas com circulação de água com características geotermiais, por as anomalias serem de origem profunda (Rocha, 2012; Figueiredo *et al.* 2009; Figueiredo *et al.* 2010; Rocha *et al.* 2019).

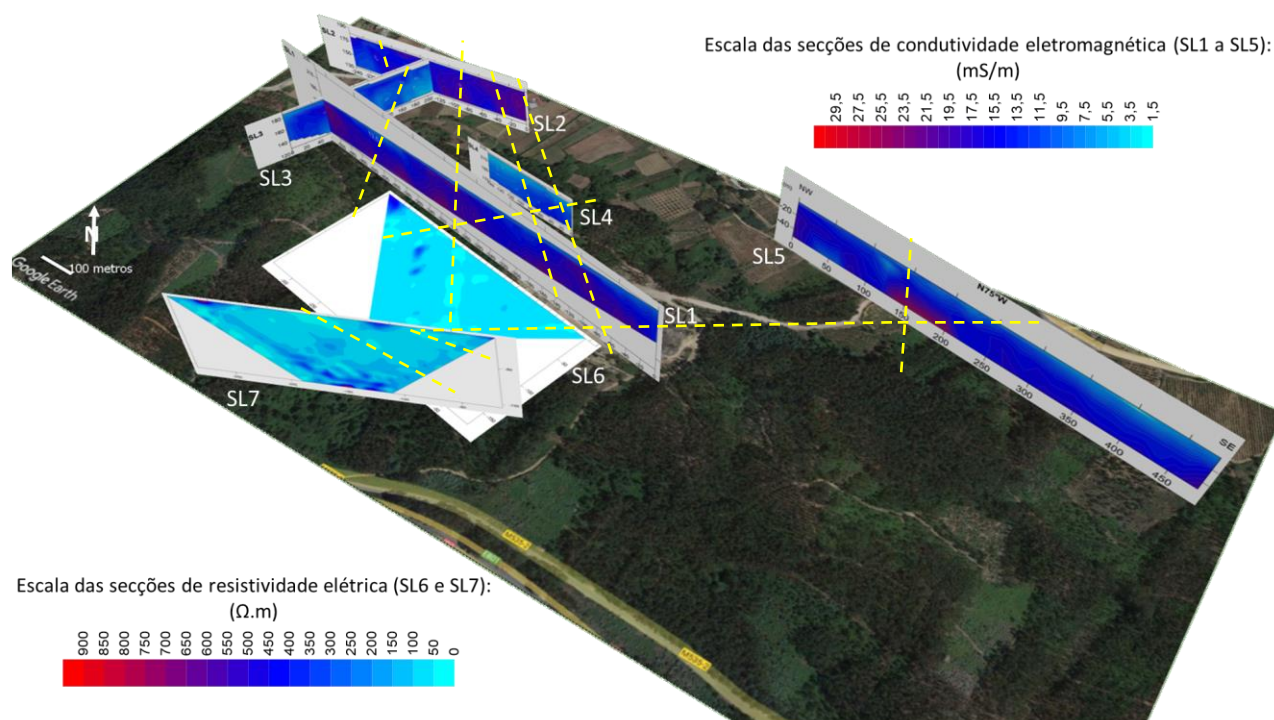


Fig. 1. Representação interpretativa das secções de tomografia de resistividade eléctrica para o dispositivo de medida Dipolo-Dipolo com espaçamento de 10 m (SL6 e SL7); e das secções de condutividades (SL1, SL2, SL3, SL4 e SL5). A secção SL6 é coincidente com a secção SL1 dos -60 aos -410 metros, devido à sobreposição de imagens, optou-se pela representação gráfica da secção SL6 na horizontal. A tracejado amarelo evidenciam-se as possíveis discontinuidades por onde se poderá efectuar a percolação subterrânea da água adaptados à imagem do GOOGLE EARTH (Janeiro de 2023) correspondente da área de investigação nas Corgas do Buçaco – Penacova (adaptado de Figueiredo et al. 2009; Figueiredo & Catarino 2009; Figueiredo et al. 2010; Rocha, 2012 e Rocha et al. 2019).

Agradecimentos: À Sociedade para a Exploração da Fonte das Corgas S.A., Dr. Jorge Serafino e Sr. Joaquim Albano. Carla Rocha agradece à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através da Bolsa Individual de Investigação de Doutoramento, (FCT SFRH/BD/105622/2015) e BII/FCTUC/C2008/Cgeo. O CERENA/IST agradece à FCT pelo projecto FCTUID/ECI/04028/2019 e o C2TN/IST agradece à FCT pelo projecto UID/MULTI/04349/2013. O Centro de Geociências da Universidade de Coimbra reconhece o apoio da FCT através do projecto UID/MULTI/00073/2013.

Referências

- Azevedo, J.M.M., Andrade, A.I.S.S., Figueiredo, F.P.O., Silva, F. & Serafino, J.F.C. (2008). Modelo hidrogeológico conceptual para o aquífero das Corgas, Sazes do Lorvão. Actas do 9º Congresso da Água. 2 a 4 de Abril, Cascais, APRH, 2008, CD-ROM.
- Figueiredo, F.P.O., Catarino, L.M.G. & Rodrigues, N.V. (2009). Relatório dos trabalhos de prospecção geofísica realizados na Fonte das Corgas (Sazes do Lorvão - Penacova), 3ª Fase. Departamento de Ciências da Terra da FCTUC. Relatório interno para Soc. Exp. da Fonte das Corgas-Buçaco, S.A, 2009.
- Figueiredo, F.P.O. & Catarino, L.M.G. (2009). Relatório dos trabalhos de prospecção geofísica realizados na Fonte das Corgas (Sazes do Lorvão - Penacova), método eléctrico de resistividade - dispositivo Diolo-Dipolo, 4ª Fase. Departamento de Ciências da Terra da FCTUC. Relatório interno para Soc. Exp. da Fonte das Corgas-Buçaco, S.A, 2009.
- Figueiredo, F.P.O., Catarino, L.M.G., Azevedo, J.M.M, Rodrigues, N.V. & Serafino, J.F.C. (2010). Prospecção geofísica aplicada ao estudo do aquífero das Corgas, Sazes do Lorvão (Penacova). Actas do 10º Congresso da Água. 21 a 24 de Março, Algarve, APRH, 2010. 1-16.
- Rocha, C.S.A. (2012). A resistividade eléctrica aplicada à caracterização hidrogeológica e geotécnica do aquífero das Corgas, Sazes do Lorvão – Penacova. Implantação de aerogeradores, Brenha - Serra da Boa Viagem, Figueira da Foz. Tese de Mestrado em Geociências, não publicada. DCT, FCT, Universidade de Coimbra.
- Rocha, C.S.A., Figueiredo, F., Lopes, A.C., Catarino, L. & Azevedo, J.M. (2019). Aplicação da prospecção geofísica para a caracterização da massa de água mineral das “Corgas do Buçaco”, Penacova. Actas do 12º Congresso da Água. 7 e 8 de Março, Coimbra, APRH, 2019, 110-113.

A Prospecção Geofísica na Caracterização Geotécnica para a Implantação de Torres Eólicas em Maciços Carbonatados

Geophysical Prospecting in the Geotechnical Characterization for Deployment of Wind Towers in Carbonated Massifs

C. S. Almeida Rocha (1), F. P. Figueiredo (2) e A. C. Lopes (2)

(1) Universidade de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA) Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), carla.s.rocha@tecnico.ulisboa.pt

(2) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências (CGEO), Departamento de Ciências da Terra., fpedro@dct.uc.pt; amcastil@dct.uc.pt

Summary: *The contribution of geophysical prospecting in the study and geological-structural characterization provides the possibility of in-depth analysis, being a notable contribution to the knowledge with greater accuracy of the morphological, tectonic and structural characteristics that reinforce the area of geological knowledge. The development of the geotechnical study through the execution of electrical resistivity tomography profiles, with the Dipole-Dipole measuring devices with longitudinal and perpendicular attitude to the alignment and orientation of the rock massif under analysis, as well as seismic profiles of refraction and GPR should be carried out to complement the study of the carbonate rock massif, with the aim of ensuring more effectively the implementation of wind towers.*

Key words: *Electrical Resistivity Tomography, Dipole-Dipole, Carbonated Massifs, Wind Towers*

Palavras-chave: Tomografia de Resistividade eléctrica, Dipolo-Dipolo, Maciços carbonatados, Torres eólicas

Introdução: A aplicação das técnicas de geofísica, são de primordial importância para a identificação de descontinuidades que possam vir a ser responsáveis por problemas que se encontram nos maciços rochosos, em particular nos carbonatados. Estas técnicas não destrutivas, possibilitam a aquisição de informação que abrange o maciço rochoso carbonatado, algumas estruturas geológicas como descontinuidades, nível freático, algares, cavidades e outras que possam ser favoráveis na criação das condições de instabilidade na estrutura eólica e coloquem em risco a sua sustentabilidade, durabilidade e rendimento.

Em Portugal basta consultar em simultâneo os sites do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) (<https://geoportal.ineg.pt/mapa/?mapa=AtlasEolico#>) e da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) (<https://portalgeo.dgeg.gov.pt/arcgis/apps/webappviewer/>), para se perceber que existem inúmeras torres eólicas implementadas em maciços rochosos carbonatados, como exemplos podem-se constatar a presença dos mesmos na Serra dos Candieiros, na Serra da Boa Viagem, Penela, Soure, Pombal, Ansião, Alvaiázere, Batalha, Alcanena, Ourém, Alcobáça, Peniche, Lourinhã, Caldas da Rainha, Cadaval, Alenquer, Torres Vedras, Vila Franca de Xira, Arruda

dos Vinhos, Sobral do Monte Agraço, Loures, Mafra. Para cada torre eólica é necessário ter em conta o peso e o esforço que esta exerce no maciço rochoso. É necessário ter em atenção que as torres eólicas são colocadas em cumeada, com topografia acentuada e, na maioria dos casos, com vegetação densa, o que dificulta a observação e estudos da geologia e da prospecção “in situ”.

Metodologia: Devem-se iniciar os estudos com a prospecção geológica “in situ”, evoluir para a prospecção geofísica, com utilização mais usual, dos métodos eléctricos, electromagnéticos, sísmica de refração, GPR, sendo os mais utilizados os métodos de sísmica de refração e de tomografia de resistividade eléctrica (TRE). O GPR, pode atingir a profundidade de investigação dos 15-20 metros aproximadamente, com o emprego da antena a utilizar, que deve ter uma frequência de 250 MHz a 125 MHz. As TRES e os perfis sísmicos devem de ter um comprimento aproximadamente de 100-120 metros, para uma profundidade de investigação de 20 metros. O método da sísmica de refração é o mais adequado para o estudo da estrutura e da porosidade do meio rochoso. A partir, da combinação destes dois métodos, de prospecção geofísica (TRES, com o dispositivo de medida Dipolo-Dipolo; e o método da sísmica de refração) consegue-se avaliar

por estimativa, a variação tanto vertical como horizontal do grau de saturação e índice de vazios, do corpo rochoso anisotrópico. Devido à anisotropia e heterogeneidade dos terrenos recomenda-se que no local de implantação da estrutura eólica sejam efetuados dois perfis ortogonais ou semi-ortogonais, de modo a caracterizar o maciço.

Caso de Estudo: Segue um exemplo ilustrado pela (fig.1) do resultado final das TRES com o dispositivo de medida Dipolo-Dipolo, de uma campanha de geofísica desenvolvida com o resistímetro ABEM Terrameter SAS 300B (acoplado de multicabos e caixa

de comutação) num maciço rochoso carbonatado, cuja a finalidade foi a implementação de três torres eólicas. Podem ser observados pela distribuição dos valores da resistividade eléctrica nos três locais que estes são bastantes heterogéneos, em algum caso com evidência da existência de cavidades. Os locais de implantação das torres eólicas devem ser seleccionados de acordo com os valores mais elevados de resistividade, pois são a garantia da resistência do maciço rochoso na instalação das infra-estruturas (Figueiredo, F.P. 2010; Rocha, 2012).

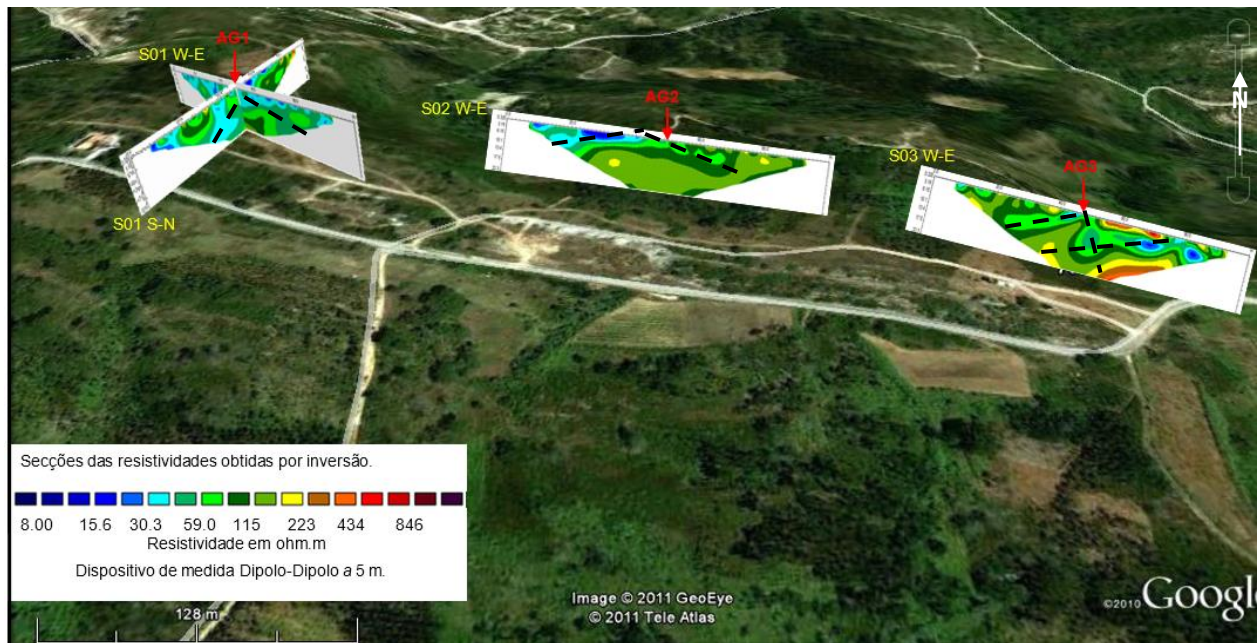


Fig. 1. Representação interpretativa das secções de resistividade eléctrica com o dispositivo de medida Dipolo-Dipolo (S01 S-N, S01 W-E, S02 W-E, S03 W-E), com a interpretação das descontinuidades a tracejado preto e respectivos locais da implementação das torres eólicas AG1, AG2 e AG3, adaptados à imagem do GOOGLE EARTH (Julho de 2011) correspondente da área de investigação em maciço carbonatado. (adaptado de Rocha, 2012).

Agradecimentos: Carla Rocha agradece à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através da Bolsa de Investigação de Doutoramento, financiada por fundos Nacionais do MCTES, da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT SFRH/BD/105622/2015) e BII/FCTUC/C2008/Cge; O CERENA/IST reconhece o apoio da FCT através do projecto FCTUID/ECI/04028/2019 e o C2TN/IST agradece o apoio da FCT através do projecto UID/MULTI/04349/2013. O Centro de Geociências da UC reconhece o apoio da FCT através do projecto UID/MULTI/00073/2013. Agradecemos ao Senhor Engenheiro Nelson Reis da empresa AÇORGE – Sociedade de estudos Geotécnicos, Lda..

Referências

- Figueiredo, F.P. (2010) . Relatório dos trabalhos de prospecção geofísica realizados para implantação de três torres de eólicas (Brenha – Figueira da Foz). Método eléctrico de resistividade, Dispositivo- Dipolo. Não publicado.
- Rocha, C.S.A. (2012). A resistividade eléctrica aplicada à caracterização hidrogeológica e geotécnica aquífero das Corgas, Sazes do Lorvão – Penacova. Implantação de aerogeradores, Brenha - Serra da Boa Viagem, Figueira da Foz). Tese de Mestrado em Geociências, não publicada. DCT, FCT, Universidade de Coimbra.
- Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). <https://portalgeo.dgeg.gov.pt/arcgis/apps/webappviewer/>
- Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). <https://geoportal.lneg.pt/mapa/?mapa=AtlasEolico#>

A utilização do método de resistividade eléctrica num meio granítico fracturado – aproximações e ratoeiras

Using the electrical resistivity method in a fractured granitic environment – approaches and pitfalls

N. Alte da Veiga (1)

(1) Universidade de Coimbra, CITEUC, Departamento de Ciências da Terra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal; ndaveiga@ci.uc.pt

Summary: *In the electrical resistivity method, a path may be traced from the four point electrode device to arrays such as the Wenner, Schlumberger or dipole-dipole; and, from here, to the two basic techniques of the electrical resistivity sounding and the resistivity profiling. Further development led to the multi-electrode devices now in use, with 2D and 3D capabilities. The way in which a granitic terrain is conceived, and the approximations we may use, can be influenced by this evolution. It is, namely, the case of the electrical resistivity sounding, which requires for its interpretation the assumption of a stratified earth parallel to the surface; the translation of such an earth to the situation of a granitic terrain is not straightforward. And, in what concerns multi-electrode surveys, the non-uniqueness of the geophysical results/models has consequences as well. Specific situations here considered concern a granitic terrain in centre-northern Portugal.*

Key words: *electrical resistivity, resistivity section, electrical sounding, granite, crystalline rock*

Palavras-chave: resistividade eléctrica, secção de resistividade, sondagem eléctrica, granito, rocha cristalina

No método de resistividade eléctrica, a base da execução de uma medição com eléctrodos pontuais é em si mesma simples, recorrendo a quatro eléctrodos, dois de corrente e dois de potencial. Uma primeira elaboração está ligada à multiplicidade de arranjos que é possível fazer com esses quatro eléctrodos, e que leva aos conhecidos dispositivos Wenner, Schlumberger e dipolo-dipolo, e ainda a dispositivos como o pólo-dipolo e o pólo-pólo em que um ou dois desses eléctrodos são colocados a uma distância considerada “infinita”; acresce a possibilidade de variar a distância entre os ditos eléctrodos. Uma segunda elaboração está ligada à forma como sucessivas medições são feitas, de que resultaram, no século XX, as duas técnicas básicas: sondagem eléctrica e perfil de resistividade. Na técnica da sondagem eléctrica procura-se um aumento progressivo da profundidade de investigação, através do incremento progressivo da distância entre eléctrodos, sendo a mesma dirigida à detecção de variações no terreno segundo um eixo vertical. Por seu turno, o perfil de resistividade, mantendo uma distância entre eléctrodos fixa, que se traduz, numa primeira aproximação, numa profundidade de investigação sensivelmente constante, está orientado para a detecção de variações laterais no terreno, dentro da profundidade de investigação em causa. Uma terceira elaboração, surgida na última década do século XX, consiste, de certo modo, na junção da sondagem eléctrica e do

perfil de resistividade. Isto é feito utilizando uma bateria de eléctrodos previamente cravados no terreno (na ordem das dezenas), a distâncias geralmente fixas entre si, sendo as medições realizadas com diversas combinações desses eléctrodos, mas sempre com o mesmo esquema-base de quatro eléctrodos; daqui resultam representações bidimensionais da variação da resistividade eléctrica do terreno (secções 2D), sendo também possível, a partir daqui, evoluir para levantamentos 3D.

O modo como se concebe o terreno e as aproximações utilizadas podem, em maior ou menor grau, ser influenciados pelo que resulta do parágrafo anterior, em particular das sondagens eléctricas. A técnica da sondagem eléctrica requer para a sua interpretação a assunção de um terreno estratificado paralelamente à superfície do terreno, aplicando-se particularmente bem a terrenos sedimentares que cumpram esse requisito. Quando aplicada a terrenos graníticos, o análogo de um terreno estratificado é a existência de um solo e de uma “camada” de alteração cujos limites sejam sensivelmente paralelos à superfície do terreno. Teríamos assim o equivalente a três camadas, com: solo, granito alterado, granito são; dependendo das situações, o nível freático pode acrescentar mais uma transição no perfil do terreno. Em terrenos graníticos com solos espessos (na ordem de vários metros/dezena(s) de metros), este esquema poderá estar razoavelmente bem representado, em particular no que diz respeito ao nível de solo. Em

terrenos graníticos com solos pouco espessos, constata-se, inclusivamente em afloramento, que há domínios no granito com diferentes graus de alteração, donde com diferentes resistividades eléctricas, podendo haver, por conseguinte, quer uma variação vertical quer uma variação lateral dentro do granito globalmente alterado subjacente aos solos superficiais. Tal vai obviamente repercutir-se nas curvas de sondagem e na interpretação que delas podemos fazer.

Poder-se-ia pensar que as técnicas de aquisição e interpretação 2D viriam permitir ultrapassar as questões abordadas no parágrafo anterior, e em certa medida fazem-no. Contudo, a não-unicidade dos resultados/modelos obtidos, característica dos métodos geofísicos, faz-se sentir aqui também; e, na esteira dos problemas acima mencionados, poderão estar presentes algumas limitações, com um pendor porventura mais acentuado no que diz respeito a aquisições com um dispositivo Wenner-Schlumberger (por comparação com um dipolo-dipolo).

Na região de sopé da Serra da Estrela, na zona do concelho de Gouveia que se estende até ao Mondego, são dominantes duas manchas de granitos monzoníticos, porfiríoides, um de grão médio a grosseiro, o outro de grão grosseiro, de duas micas, essencialmente biotíticos, tardi a pós-tectónicos (Teixeira et al., 1967; Severo Gonçalves et al., 1990). As situações consideradas correspondem a levantamentos efectuados sobre estes granitos, sendo parcialmente ilustradas pelo que se apresenta na figura 1. Nesta figura estão representadas duas secções de resistividade, obtidas com um dispositivo

Wenner-Schlumberger (WS) e dipolo-dipolo (DD), respectivamente. Estas secções foram obtidas exactamente no mesmo sítio e nas mesmas condições (medições realizadas em sequência). Nelas é visível a presença de um nível mais superficial, atingindo profundidades que variam entre 6-7 m e 13-15 m, sensivelmente subhorizontal, cuja base apresenta contornos mais regulares no caso da secção WS. Este nível é ele próprio heterogéneo, com variações de resistividade entre os 200-230 $\Omega.m$ e os 700-800 $\Omega.m$, em ambas as secções. Para lá de uma camada superficial de solos delgados, este nível corresponde na sua maior parte a granito alterado, com variações laterais do grau de alteração. Abaixo deste primeiro nível, ocorre um segundo nível, descontínuo, com resistividades que ultrapassam os 2000 $\Omega.m$ e que corresponde ao granito mais são presentes a maior profundidade. É de notar a presença de duas discontinuidades neste segundo nível, uma primeira, mais reduzida, aos 40-45 m, presente tanto na secção WS como na DD; e uma segunda, de maior dimensão, centrada sensivelmente aos 120 m na secção WS e aos 150 m na secção DD. E é precisamente esta última discontinuidade que levanta problemas, uma vez que a aquisição de dados teve lugar exactamente no mesmo sítio, para as duas secções. No caso da secção WS estamos na presença de um artefacto, resultante do próprio processo de inversão, sendo considerado que o modelo da secção DD está mais próximo da realidade do terreno.

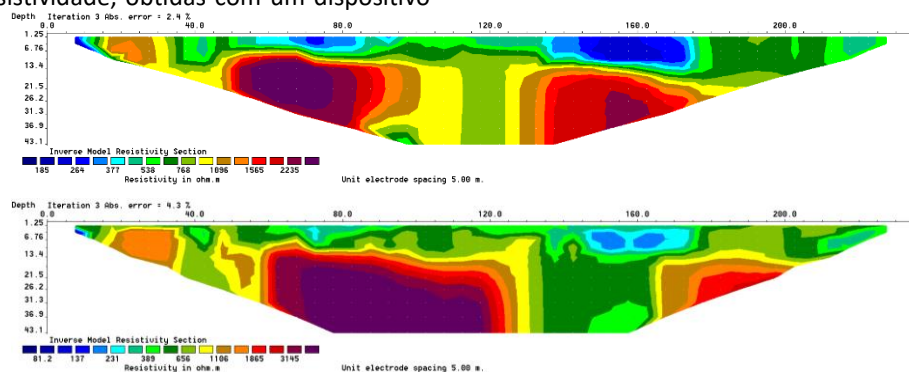


Fig. 1. Secções de resistividade (obtidas com RES2DInv): (topo) dispositivo Wenner-Schlumberger; (base) dispositivo dipolo-dipolo.

Referências

- Severo Gonçalves, L., Araújo, J.R.F., Ferreira Pinto, A.F., Fonseca, E.C., Serrano Pinto, M.C. (1990). Folha 17-B (Fornos de Algodres) da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000. Serviços Geológicos de Portugal.
- Teixeira C., Brito de Carvalho, L. H., Paula Santos, J., Martins Peres, A. & Barros, R.F. (Coords.) (1967). Folha 17-D (Gouveia) da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000 e Notícia Explicativa. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Estudo Gravimétrico e Análise Estatística Espacial das Ocorrências de Antimónio do Distrito Mineiro Dúrico-Beirão

Gravimetric Study and Spatial Statistical Analysis of the Antimony Occurrences of the Dúrico-Beirão Mining District

A. Carvalho (1,2,3)*, A. Peyrefitte (4), C. Gumiaux (4,5), E. Gloaguen (4,5), R. Ribeiro (1,2,3), A. Lima (1,2) e R. Moura (1,3)

(1) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 4169-007, Porto, Portugal

(2) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Porto, 4169-007, Porto, Portugal

(3) INESC TEC, Centro de Robótica e Sistemas Autónomos, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 4249-015, Porto, Portugal

(4) Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), F-45060, Orléans, France

(5) Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), UMR 7327, Université d'Orléans, CNRS, F-45071 Orléans, France

*anamsmcarvalho@gmail.com

Summary: To study the genesis of the antimony mineralizations present in the Dúrico-Beirão Mining District (DBMD), a gravity campaign was performed around the main structure, the Valongo Anticline. From this campaign was obtained a Complete Bouguer Anomaly (CBA), to which four filters were applied: vertical and horizontal derivatives, tilt, and analytic signal. With these and with the locations of the antimony deposits were created histograms that display the values of gravity where the mineralizations occur compared to the gravity values of the entire studied area (reference values). In these comparisons, it was possible to assess that some of the Sb mineralizations appear near the edges of sources, while most of them appear associated with higher density anomalies. This, and the fact that dolerite dykes exist in the same area as the Sb occurrences, allows the conclusion that these mineralizations are linked with mafic intrusions at depth.

Key words: Antimony, Gravity, Spatial Statistical Analysis, Mafic Intrusions, Valongo Anticline

Palavras-chave: Antimónio, Gravidade, Análise Espacial Estatística, Intrusões Máficas, Anticlinal de Valongo

O Distrito Mineiro Dúrico-Beirão (DBMD) situa-se no Norte de Portugal e tem uma extensão de cerca de 90 km, incluindo vários concelhos dos distritos de Braga, Porto, Aveiro e Viseu. O DBMD pertence à Zona Centro-Ibérica (ZCI) e nele ocorre uma grande estrutura designada por Anticlinal de Valongo (AV). Este formou-se durante a primeira fase de deformação da orogenia Varisca e consiste num anticlinal assimétrico, orientado NW-SE. É composto por formações do Paleozoico e encontra-se rodeado essencialmente por formações pré-Ordovícicas (Complexo Xisto-Grauváquico) e por granitoides variscos.

Dentro do distrito mineiro e ao longo do Anticlinal de Valongo observam-se várias ocorrências minerais, sendo algumas delas ocorrências de antimónio. Estas encontram-se maioritariamente no flanco oeste do AV.

Atualmente existe algum debate acerca da génese das mineralizações de antimónio. Há autores que defendem que a sua génese está relacionada com granitos não aflorantes que existirão no centro do AV (Couto et al., 1999 & 2007; Vallance et al., 2003;

Couto, 2014). Outros, que estudaram mineralizações semelhantes em França, no Maciço Armoricano, defendem que a origem destas mineralizações está relacionada com intrusões máficas (Pochon et al., 2016a, 2016b, 2017, 2018), sendo que Gumiel et al. (1976) também menciona uma associação espacial entre os depósitos de antimónio e as intrusões máficas na ZCI.

Para melhor estudar a origem destas mineralizações realizou-se uma campanha gravimétrica ao longo de todo o Anticlinal. Nesta campanha recolheram-se 404 medições que, após correções, deram origem a uma Anomalia de Bouguer Completa (CBA). A esta foram aplicados 4 filtros que permitem realçar diferentes tipos de anomalias. O primeiro filtro aplicado foi a primeira derivada vertical, que remove os grandes comprimentos de onda, realçando as estruturas da subsuperfície. Depois aplicou-se a derivada horizontal combinada (em x e em y) que permite destacar as mudanças laterais no campo gravítico, isto é, mudanças laterais de densidade. O filtro seguinte foi o *tilt*, que resulta da combinação dos dois primeiros, e que permite delimitar as fontes das anomalias. Por

fim utilizou-se o sinal analítico que também permite realçar os bordos das anomalias.

Para a análise estatística espacial foram criados histogramas que permitem comparar os valores de gravidade nos locais onde existem ocorrências de antimónio, com os valores de toda a área estudada. Foi criado um histograma para a CBA e para cada um dos filtros aplicados. A metodologia usada para a criação dos histogramas é baseada em Deveaud et al. (2013) e idêntica à utilizada por Pochon et al. (2016a). No histograma da CBA verifica-se que as ocorrências de antimónio estão essencialmente associadas aos valores mais elevados, isto é, densidades mais elevadas. No *tilt* e na primeira derivada vertical as ocorrências mostram-se associadas a valores

intermédios e a valores elevados. Nos histogramas do sinal analítico e da derivada horizontal, os depósitos aparecem maioritariamente associados aos valores mais baixos.

As ocorrências de antimónio mostram-se fortemente controladas por anomalias gravimétricas. Algumas das ocorrências encontram-se perto dos limites das anomalias na subsuperfície, mas em geral mostram-se relacionadas com as maiores densidades na subsuperfície e em profundidade.

A presença de filões de dolerito associados às mineralizações à superfície, em conjunto com os dados apresentados, permite aferir que existirá uma conexão entre as ocorrências de antimónio e intrusões máficas em profundidade.

Agradecimentos: Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto AUREOLE – ERA MIN/0005/2018, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P. (FCT). Ricardo Ribeiro é apoiado financeiramente no âmbito da bolsa de doutoramento (ref. SFRH/BD/140266/2018), por fundos Nacionais MCTES através da FCT, I.P., e cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (ESF) através do POCH (Programa Operacional Capital Humano) e pelo programa regional Norte 2020. Ana Carvalho é apoiada financeiramente no âmbito da bolsa de doutoramento (ref. 2022.10315.BD) por fundos nacionais MCTES através da FCT, I.P.. O trabalho é cofinanciado por fundos nacionais através da FCT, I.P., no âmbito do projeto ICT com as referências UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Couto, H., 2014. Ouro explorado pelos Romanos em Valongo: controlos das mineralizações auríferas. 1^o Congresso Mineração Romana em Valongo. Alto Relevo – Clube de Montanhismo, Câmara Municipal de Valongo. 48-57.
- Couto, H., Borges, F. S., Roger, G., 2007. Late Palaeozoic orogenic gold-antimony deposits from the Dúrico-Beirã area (North Portugal) and their relation with hidden granitic apices. Ninth Biennial SGA Meeting, Dublin. 609-612.
- Couto, H., Roger, G., Fontelles, M., 1999. Présence de sills de roches ignées acides dans la mine Sb Au de Ribeiro da Serra, district Dúrico Beirão, Nord Portugal. Implications métallogéniques. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences – Series IIA – Earth and Planetary Science, Vol 329, 10, 713-719.
- Deveaud, S., Gumiaux, C., Gloaguen, E., Branquet, Y., 2013. Spatial statistical analysis applied to rare element LCT-type pegmatite fields: an original approach to constrain faults-pegmatites-granites relationships. Journal of Geosciences, 58, 163–182.
- Gumiel, P., Arribas, A., Saavedra, J., 1976. Geologia y metalogenia del yacimiento de estibina-scheelita de “San Antonio” Albuquerque (Badajoz). Stvdia Geologica, X, 61-93.
- Pochon, A., Beaudoin, G., Branquet, Y., Boulvais, P., Gloaguen, E., Gapais, D., 2017. Metal mobility during hydrothermal breakdown of Fe-Ti oxides: insights from Sb-Au mineralizing event (Variscan Armorican Massif, France). Ore Geol. Rev. 91, 66-99.
- Pochon, A., Gapais, D., Gloaguen, E., Gumiaux, C., Branquet, Y., Cagnard, F., Martelet, G., 2016a. Antimony deposits in the Variscan Armorican belt, a link with mafic intrusives? Terra Nova 28, 138-145.
- Pochon, A., Gloaguen, E., Branquet, Y., Poujol, M., Ruffet, G., Boiron, M.C., Boulvais, P., Gumiaux, C., Cagnard, F., Gouazou, F., Gapais, D., 2018. Variscan Sb-Au mineralization in Central Brittany (France): a new metallogenic model derived from the Le Semnon district. Ore Geol. Rev. 97, 109-142.
- Pochon, A., Poujol, M., Gloaguen, E., Branquet, Y., Cagnard, F., Gumiaux, C., Gapais, D., 2016b. U-Pb LA-ICP-MS dating of apatite in mafic rocks: Evidence for a major magmatic event at the Devonian-Carboniferous boundary in the Armorican Massif (France). American Mineralogist 101, 2430-2442.
- Vallance, J., Cathelineau, M., Boiron, M. C., Fourcade, S., Shepherd, T. J., Naden, J., 2003. Fluid rock interactions and the role of late Hercynian aplite intrusion in the genesis of the Castromil gold deposit, northern Portugal Chemical Geology, 194: 201-224.

Estrutura sísmica 3d e evolução da crosta sul de Portugal continental (resultados preliminares)

3D Seismic structure and crustal evolution of the south of Portugal mainland (preliminary results)

O. Cavacundo (1,3), N. A. Dias (1,2), I. Rio (1) e L. Matias (1)

(1) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal, osoriodecavacundo@gmail.com

(2) Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Portugal

(3) Instituto Superior de Ciências da Educação da Huíla, Angola

Summary: This work aims to derive an improved 3D tomographic crustal velocity model for V_p and V_s for southern Portugal, to better understand the inland seismicity distribution, especially around the Monchique igneous intrusion, elucidating the causes of seismic anisotropy reported by active seismic profiles of previous studies, and, to correlate the observed seismic heterogeneities with the tectonic evolution of the crust. We will present the preliminary results of the passive data modeling of P-wave and S-wave refracted phases, but P and S Moho reflections are to be included at a later stage.

Key words: Seismicity, seismic tomography, seismic anisotropy, crustal structure

Palavras-chave: Sismicidade, tomografia sísmica, anisotropia sísmica, estrutura da crosta

O presente trabalho tem por objetivo obter um modelo 3D de velocidades V_p e V_s da crosta no Sul de Portugal continental, com vista a melhorar o entendimento que se tem da sismicidade continental, especialmente em volta da intrusão ígnea de Monchique, elucidar as causas da anisotropia sísmica relatadas nos perfis de sísmica ativa de estudos anteriores, e, correlacionar as heterogeneidades sísmicas observadas com a evolução tectónica da crosta. Apresentaremos os resultados preliminares da modelagem de dados passivos da fase P refratada, reservando as refrações S e as reflexões P e S na Moho para estágios posteriores. Compilamos todos os dados de campanhas sísmicas passivas e ativas anteriores na região; dados ativos provenientes de perfis sísmicos de refração/reflexão de grande ângulo dos anos 1970 e 1990, enquanto os dados passivos são fornecidos por campanhas sísmicas temporárias recentes, mais os dados da rede permanente do Instituto Português do Mar e da Atmosfera de 2000-2021. O novo conjunto de dados passivos compreende 80 estações sísmicas e 3978 eventos localizados no sudoeste da Península Ibérica. Para garantir melhor qualidade dos dados, este pacote de dados foi filtrado, selecionando os eventos com GAP até 200º, erros na localização inicial inferiores a 10 km em latitude e longitude e a 4 km em profundidade. Em relação às leituras, foram usados eventos com pelo menos 6 leituras P e igual número de leituras S, e resíduos compreendidos entre -1 e 1 segundos. Isso reduziu o número de eventos em 1875, num total de 21291 leituras P diretas.

O modelo inicial 1D foi obtido usando o código VELEST, a partir de uma combinação de modelos anteriores, usando um subconjunto de 827 eventos distribuídos por toda a região, com 49267 leituras de P e S. O modelo 3D V_p e V_s foi invertido utilizando o código FMTOMO, uma grelha 3D com espaçamento de 20 km na horizontal e 5 km na vertical, mapeando toda a Crosta.

Os resultados mostram (fig. 1) que as principais anomalias sísmicas são compatíveis com os resultados de estudos anteriores. As assinaturas das principais anomalias parecem coincidir com a orientação das estruturas Varisca e com os limites das unidades tectónicas. Por exemplo, a Falha Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo marca o limite entre a ZOM e a Bacia do Vale Inferior do Tejo e do Sado, e as anomalias no modelo parecem respeitar este limite. Além disso, a Bacia parece estar marcada no modelo. O contacto entre a ZSP e a ZOM não parece bem marcado no modelo, mas há sinais de sua existência. A anomalia positiva em Monchique parece também ser evidente até a profundidade de 12 km. As anomalias parecem obedecer a orientação da falha Odemira-Ávila, assim como a orientação das falhas que marcam a Zona de Ossa Morena. Quer nos modelos tomográficos prévios quer nos estudos geológicos da região não há qualquer referência às duas principais anomalias identificadas no modelo obtido, localizadas entre os 38.0º-38.7º de latitude e os 351.4º-352.3º de longitude. Há que investigar se elas resultam do processo tomográfico (do método ou da parametrização), da existência de ruído nos dados ou da estrutura geológica.

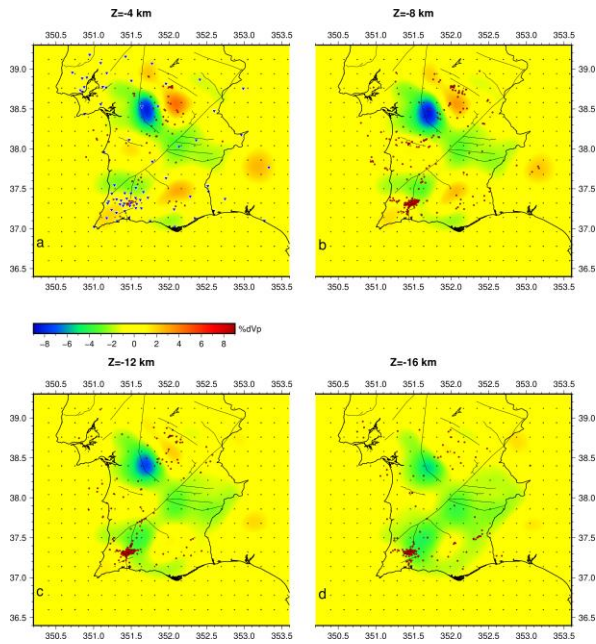


Fig. 1. Cortes horizontais do modelo de perturbação relativa das velocidades P. Os triângulos são as estações sísmicas, os pontos vermelhos são os eventos representados num volume de 4 km de espessura. Os pontos pretos representam os nodos. Na figura estão também representadas as principais falhas.

Esperamos que a inclusão conjunta de ondas refletidas P e S e dos dados de telessísmica melhore significativamente o modelo 3D final, mapeando as heterogeneidades da crosta de menor escala.

Agradecimentos: O primeiro autor tem uma bolsa de doutoramento do Governo de Angola, representado pelo Instituto Nacional de Gestão de Bolsas de Estudos, INAGBE, no âmbito do Programa de Envio Anual de 300 Licenciados e Mestres Angolanos com Elevado Desempenho e Mérito Académico para as melhores universidades do mundo, edição 2020, a luz do Decreto Presidencial nº 67/19 de 22 de Fevereiro. Tem também uma licença laboral do Instituto Superior de Ciências da Educação da Huíla.

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) – UIDB/50019/2020-IDL e parcialmente apoiado pelos projetos RESTLESS— Ferramentas integradas para decifrar a génese e evolução espaço-temporal de sequências sísmicas (PTDC/CTA-GEF/6674/2020) e MOZ3-5 (contrato IFREMER 14/1211045/B).

Lithospheric Structure of the SW Iberian Margin from new Seismic and Gravity Constraints

Estrutura litosférica da Margem Sudoeste Ibérica por constrangimentos resultantes da modelação de dados Sísmicos e Gravimétricos recentes

R. Correia (1), M. Prada (2), V. Sallarès (3), I. Merino (2), A. Calahorrano (2), A. Cameselle (3), L. M. Pinheiro (1), and C. Ranero (2,4)

(1) Department of Geosciences and CESAM, University of Aveiro, Aveiro, Portugal, ricardocorreia@ua.pt

(2) BCSI, Institute of Marine Sciences, CSIC, Barcelona, Spain

(3) Centro de Investigación Mariña (CIM), University of Vigo, GEOMA, Vigo, Spain

(4) ICREA, Barcelona, Spain

Sumário: Este trabalho visa compreender melhor a estrutura litosférica da margem Sudoeste Ibérica com base num perfil localizado a sudoeste do cabo de São Vicente. O perfil estende-se desde a Planície Abissal do Tejo até ao extremo oeste do Golfo de Cádiz, atravessando quatro importantes falhas inversas - Planície Abissal do Tejo, Marquês de Pombal, São Vicente e Ferradura. A estrutura crustal foi determinada a partir de dados de refração e reflexão sísmica de grande ângulo conjugados com dados de reflexão sísmica multicanal, posteriormente complementados por dados gravimétricos. A imagem tomográfica obtida apresenta uma estrutura de velocidades da onda P (V_p) com mudanças laterais expressivas, marcadas por um soco bastante irregular e mudanças bruscas na espessura crustal. No segmento norte existem evidências de exumação do manto. As fases sísmicas profundas invertidas revelaram a existência de quatro refletores que mergulham para sudeste, podendo associar-se à geometria profunda dessas falhas regionais, com potencial tsunamigénico.

Palavras-Chave: Estrutura Litosférica, Sísmica de refração e reflexão de grande ângulo; Reflexão sísmica multicanal; Tomografia Sísmica; Margem Sudoeste Ibérica.

Key words: Lithospheric Structure, Wide-Angle Seismics; Reflection Multichannel Seismics; Seismic Tomography; Southwest Iberian Margin

Introduction and Geological Setting

The SW Iberian Margin (SWIM) has a complex tectonic setting and crustal structure derived from a succession of rift events related to the opening of North Atlantic and Neotethys, from the Mesozoic to the Lower Cretaceous [e.g. Schettino and Turco, 2009], and the subsequent compression between Africa and Eurasia, from the Lower Oligocene to present [e.g. Martínez-Loriente et al., 2014]. This setting led to the reactivation of pre-existing strike-slip and extensional faults enhancing the seismogenic and tsunamigenic potential of the area [e.g. Zitellini et al., 2004; Martínez-Loriente et al., 2013]. Thus, understanding of lithospheric structure along the SW Iberian Margin is not only important for understanding the rift evolution but also for a better understanding of the distribution of the major lithospheric-scale boundaries, currently active and potentially capable of generating great seismic events of similar magnitude to the catastrophic 1755 Lisbon tsunamigenic earthquake, [e.g. Zitellini et al., 2001]. With the need to improve the current knowledge on SWIM lithospheric structure, in 2018, wide-angle seismic (WAS) and multichannel seismic (MCS) data

were collected during the FRAME scientific cruises along a NW-SE trending, 320 km-long new geophysical transect (Fig. 1).

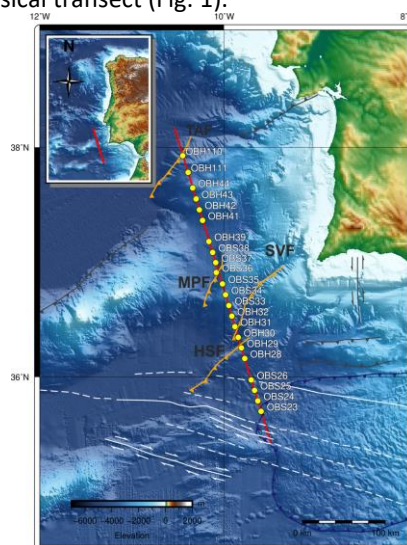


Fig. 1. Wide-Angle Seismic profile acquired during FRAME survey on SW Iberian margin with the respective OBS/H locations (yellow circles). Digital elevation model from the General Bathymetric Chart of the Oceans - GEBCO. TAF: Tagus Abissal Plain Fault, MPF: Marquês de Pombal Fault; HSF: Horseshoe Fault; SVF: São Vicente Fault.

Methods

The WAS data were recorded with 22 ocean bottom seismometers and hydrophones (OBS/H), deployed each ~10km, while the MCS data was recorded with a 6 km-long streamer. Each OBS/H record was pre-processed on board for clock and position drift corrections. The signal contained in all records was later processed with an automatic gain compensation and a bandpass filter (5-18Hz), to increase the signal-noise ratio and facilitate the seismic phase interpretation/picking. A joint refraction and reflection travel-time tomography was applied, using the TOMO2D code [Koregana et al., 2000], on travel-times from both datasets (i.e. WAS and MCS), to invert a detailed 2D P-wave velocity structure of the crust and uppermost mantle, and the geometry of the main seismic interfaces, namely the top of the acoustic basement and the Moho. To validate the imaged structure, the WAS-derived seismic velocity (Fig. 2) was submitted to an uncertainty analysis (Monte-Carlo approach) and converted into density using different empirical velocity-density correlations

to calculate the gravity response and compare it to satellite observations.

Results and Final Considerations

The final model (Fig. 2) shows a Vp structure with abrupt lateral velocity variations marked by a rough Top of Basement topography and strong crustal thickness variations. The crust shows Vp values varying from 4-5 km/s at the top to 6-6.5 km/s at the bottom, and its thickness ranges from ~6 km thick to 0 km in areas where the sediments are sitting on top of the mantle (under OBH 111; Figs 1 and 2). The Moho shallows beneath the north-eastward continuation of the Horseshoe Basin and the Gorringer Bank (Fig. 1). The deep seismic phases modelled from WAS records provide new information on the deep geometry and extent major thrust faults crossed in this profile. These results will allow to detail the geodynamic evolution of Iberian Margin and the opening of the North Atlantic, and contribute to a better evaluation of the seismic and tsunamigenic hazard potential of this region.

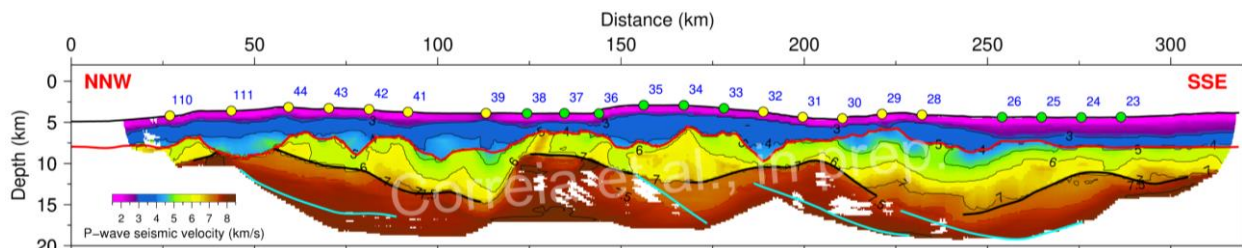


Fig. 2. 2-D velocity model obtained by joint refraction and reflection traveltimes inversion. The circles along the seafloor show the instrument locations, green for OBS and yellow for OBH. The thick solid black lines indicate the crust-mantle boundary (Moho).

Acknowledgments: We thank the teams involved in the FRAME surveys. Special thanks to ship's officers and crew of the R/V Sarmiento de Gamboa, as well as the Spanish-UTM and GEOMAR technicians. R. Correia and L. M. Pinheiro's work has been supported by the research project PRORIFT (NSFC/0003/2016), funded by FCT.

References

- Korenaga, J., W. S. Holbrook, G. M. Kent, P. B. Kelemen, R. S. Detrick, ... & T. Dahl-Jensen (2000). Crustal structure of the southeast Greenland margin from joint refraction and reflection seismic tomography, *J. Geophys. Res.*, 105, 21,591–21,614, doi:10.1029/2000JB900188.
- Martínez-Loriente, S., Gracia, E., Bartolome, R., Sallarès, V., ... & Zitellini, N. (2013). Active deformation in old oceanic lithosphere and significance for earthquake hazard: Seismic imaging of the Coral Patch Ridge area and neighboring abyssal plains (SW Iberian Margin). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14(7), 2206-2231.
- Martínez-Loriente, S., Sallarès, V., Gràcia, E., Bartolome, R., Dañobeitia, J. J., & Zitellini, N. (2014). Seismic and gravity constraints on the nature of the basement in the Africa-Eurasia plate boundary: New insights for the geodynamic evolution of the SW Iberian margin. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(1), 127-149.
- Schettino, A. & E. Turco (2009), Breakup of Pangaea and plate kinematics of the central Atlantic and Atlas regions, *Geophys. J. Int.*, 178, 1078-1097.
- Zitellini, N., M. Rovere, P. Terrinha, F. Chierici, L. Matias, & BIGSETS Team (2004), Neogene through Quaternary tectonic reactivation of SW Iberian Passive Margin, *Pure Appl. Geophys.*, 161, 565–587.
- Zitellini, N., Mendes, L. A., Cordoba, D., Danobeitia, J., Nicolich, R., ... & Bortoluzzi, G. (2001). Source of 1755 Lisbon earthquake and tsunami investigated. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 82(26), 285-291.

Registo Magnético e Climático de Espeleotemas de Portugal Magnetic and Climatic Record of Speleothems from Portugal

R. Dinis (1), E. Font (1,2), J. Carmo (3), A. S. Reboleira (4), A. HasözbeK (5), F. J. Barredo (5),
E. Carvalho (6), J. E. Spangenberg (7) e R. Trindade (3)

(1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 3000-272 Coimbra, Portugal, dinis26rafael@gmail.com

(2) Instituto Dom Luis (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-026 Lisbon, Portugal

(3) Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 05508-090 São Paulo, Brazil

(4) Departamento de Biologia Animal, Faculdade de Ciências, Centre for Ecology, Evolution and Environmental Changes (Ce3C), Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

(5) Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana, CENIEH, Paseo Sierra de Atapuerca, 309002 Burgos, España

(6) Espeleolo Clube de Torres Vedras, 2560-703 Torres Vedras, Portugal

(7) Institute of Earth Surface Dynamics, University of Lausanne, 1015, Lausanne, Switzerland

Summary: *The magnetism of speleothems has been used to study variations of the earth's magnetic field (CMT) of short duration, as well as the climate. In this work, four speleothems of the Estremenho Limestone Massif of Portugal are being studied, to obtain information about the variation of the CMT and the relationship between the magnetic properties of speleothems with environmental and climatic parameters. For these objectives, paleomagnetic data (remaining natural magnetization), analysis of the isotopic composition of carbon and oxygen, and U-Th dating have been carried out. Paleomagnetic results indicate that stalagmites have registered a stable remaining magnetization of primary origin, i.e., contemporary with the precipitation of stalagmites. Once accurately dated using the U-Th method, these data will provide new links to study short-term variations of CMT in Portugal, as well as climatic variations through isotopic composition in carbon and oxygen.*

Keywords: *Speleothems, Paleomagnetism, Climate, Stable Isotopes, Magnetic Mineralogy*

Palavras-chave: Espeleotemas, Paleomagnetismo, Clima, Isótopos Estáveis, Mineralogia Magnética

O magnetismo de espeleotemas é considerado como uma área a crescer no futuro, com numerosas vantagens quando comparada com os arquivos de dados geológicos clássicos, pois fornece registo contínuo e de melhor resolução. Uma vez que os espeleotemas são depósitos minerais consolidados, problemas relacionados com compactação ou bioturbação são evitados. Ainda, os espeleotemas podem ser datados com alta precisão usando séries radioativas de U-Th ou ^{14}C . Nas últimas duas décadas, investigadores testaram e consolidaram o campo de investigação do magnetismo dos espeleotemas (Latham *et al.*, 1979; Openshaw *et al.*, 1997; Perkins *et al.*, 1993; Osete *et al.*, 2012; Lascu *et al.*, 2016; Trindade *et al.*, 2018; Font *et al.*, 2014; Ponte *et al.*, 2017; Ponte *et al.*, 2018). As propriedades magnéticas dos espeleotemas têm sido usadas, embora numa extensão mais reduzida, nas reconstituições paleoclimáticas (Bourne *et al.*, 2015; Zhu *et al.*, 2017). Estes estudos ilustram o potencial que os espeleotemas têm de registar variações de curta duração do CMT, apresentando diversas

implicações nas geociências e na geofísica. Contudo, o desenvolvimento desta área é ainda juvenil, pelo que são necessárias mais investigações. Já Portugal apresenta um precioso e inexplorado património de grutas e espeleotemas, o que representa um laboratório natural excelente para o desenvolvimento desta área.

Os principais objetivos deste estudo prendem-se na investigação do registo paleomagnético e climático de quatro estalagmites do Maciço Calcário Estremenho, em Portugal, recolhidas numa pedra perto de Fátima (Filstone S.A.). As estalagmites foram orientadas no campo usando uma bússola magnética, e posteriormente cortadas no laboratório em diferentes espécimes com ~0.5 cm de espessura. Selecionamos de preferência as laminações localizadas nos centros das estalagmites, ao longo do eixo de crescimento, para evitar possíveis problemas relacionados com a influência da morfologia da estalagmite sobre a orientação dos minerais magnéticos (Ponte *et al.*, 2017). As análises magnéticas foram conduzidas no laboratório de paleomagnetismo do Instituto de

Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo, Brasil, e consistem na desmagnetização em campo alternado (AF) da magnetização remanescente natural e na aquisição de curvas de magnetização remanescente anisterética. A magnetização foi medida usando um magnetómetro criogénico 2G. Os dados paleomagnéticos foram analisados a partir da análise de componente principal usando estatística de Fisher.

As datações de U-Th estão a ser conduzidas no laboratório do CENIEH, em Burgos, e estarão disponíveis nos próximos meses. As composições isotópicas de carbono e oxigénio estão a ser analisadas na Universidade de Lausanne.

Os resultados das desmagnetizações em campo alternado mostram uma magnetização remanescente estável e consistente com as

direções do campo magnético terrestre atual de Portugal. As projeções ortogonais mostram uma magnetização viscosa removida abaixo de 10 mT, seguida de uma magnetização primária com direção para a origem. A direção da magnetização observada nos diagramas estereográficos tem uma declinação média de 60,3° com uma inclinação média de 20,1°. A inclinação magnética varia ligeiramente ao longo das estalagmites, enquanto a declinação mostra um padrão de variação consistente com a variação paleosecular do CMT. Uma vez datados com o método U-Th, estes dados poderão ser comparados e calibrados com os modelos de variação secular publicado na literatura (ex. SHADIF.14k). Este trabalho demonstra que as estalagmites do Maciço Calcário Estremenho são excelentes candidatos para futuros estudos magnéticos.

Agradecimentos: Este trabalho foi feito no âmbito do doutoramento de Rafael Dinis financiado pela FCT (10216.2022.BD) e com o apoio do projeto SAMEPA financiado pela FCT (ref. PTDC/CTA-GEO/0125/2021). Agradecemos a colaboração da Filstone S.A. por permitir o acesso à pedreira e recolha de amostras.

Referências

- Latham, A.G., Schwarcz, H.P., Ford, D.C., & Pearce, G.W. (1979). Paleomagnetism of Stalagmite Deposits. *Nature*, 280(5721), 383-385.
- Openshaw, S., Latham, A. & Shaw, J. (1997). Speleothem palaeosecular variation records from China: Their contribution to the coverage of Holocene palaeosecular variation data in east Asia. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 49(4), 485-505.
- Perkins, A.M. & Maher, B.A. (1993). Rock Magnetic and Paleomagnetic Studies of British Speleothems. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 45(2), 143-153.
- Osete, M.L., Martín-Chivelet, J., Rossi, C., Edwards, R.L., Egli, R., Munoz-García, M.B., Wang, X., Pavón-Carrasco, F.J. & Heller, F. (2012). The Blake geomagnetic excursion recorded in a radiometrically dated speleothem. *Earth and Planetary Science Letters*, 353, 173-181.
- Lascu, I., Feinberg, J.M., Dorale, J.A., Cheng, H. & Edwards, R.L. (2016). Age of the Laschamp excursion determined by U-Th dating of a speleothem geomagnetic record from North America. *Geology*, 44(2), 139-142.
- Trindade, R.I.F., Jaqueto, P., Terra-Nova, F., Brandt, D., Hartmann, G.A., Feinberg, J.M., Strauss, B.E., Novello, V.F., Cruz, F.W., Karmann, I., Cheng, H. & Edwards, R.L. (2018). Speleothem record of geomagnetic South Atlantic Anomaly recurrence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(52), 13198-13203.
- Font, E., Veiga-Pires, C., Pozo, M., Carvallo, C., de Siqueira Neto, A.C., Camps, P., Fabre, S. & Mirão, J. (2014). Magnetic fingerprint of southern Portuguese speleothems and implications for paleomagnetism and environmental magnetism. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 119(11), 7993-8020.
- Ponte, J.M., Font, E., Veiga-Pires, C., Hillaire-Marcel, C., & Ghaleb, B. (2017). The effect of speleothem surface slope on the remanent magnetic inclination. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 122(6): p. 4143-4156.
- Ponte, J.M., Font, E., Veiga-Pires, C. & Hillaire-Marcel, C. (2018). Speleothems as Magnetic Archives: Paleosecular Variation and a Relative Paleointensity Record From a Portuguese Speleothem. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 19(9), 2962-2972.
- Bourne, M.D., Feinberg, J.M., Strauss, B.E., Hardt, B., Cheng, H., Rowe, H.D., Springer, G. & Edwards, R.L. (2015). Long-term changes in precipitation recorded by magnetic minerals in speleothems. *Geology*, 43(7), 595-598.
- Zhu, Z.M., Feinberg, J.M., Xie, S., Bourne, M.D., Huang, C., Hu, C. & Cheng, H. (2017). Holocene ENSO-related cyclic storms recorded by magnetic minerals in speleothems of central China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(5), 852-857.

Fluxo de calor em Portugal-Resultados após 40 anos de trabalho

Geothermal heat flow in Portugal – Results after 40 years of work

M. R. Duque (1)

(1) Departamento de Física, ECT, Universidade de Évora, Portugal, mrاد@uevora.pt

Summary: *The first measurements of geothermal heat flow density arriving at the Earth's surface by conductivity, in Portugal, began in the early 1980s. After 40 years it is possible to present a set of 34 heat flow density values obtained in boreholes drilled for mining or water prospecting and 16 values from data obtained in wells drilled for oil and gas prospecting in sedimentary basins. Due to the reduced number of measurements in some regions of the country, numerical models were elaborated to obtain 20 heat flow density values that completed the set of data. The explanation of the obtained values is made considering heat sources in the crust, thermal conductivity and temperature gradient values and the location of the measurement sites.*

Key words: *heat flow, thermal conductivity, geothermal gradient, heat sources, crustal structure*

Palavras-chave: fluxo de calor, condutividade térmica, gradiente geotérmico, fontes de calor, estrutura da crosta

Os trabalhos para medição do fluxo de calor por condução através da crosta, em Portugal, começaram no início da década de 80, tendo sido publicados os primeiros resultados no Boletim Informativo do INMG, em 1982. Passados 40 anos, é possível apresentar um conjunto formado por 34 valores de fluxo obtidos em furos feitos para prospeção mineira ou de águas e 16 valores obtidos em bacias sedimentares com base em dados obtidos em furos feitos para prospeção de petróleo ou gás. Atendendo ao número reduzido de medições em algumas regiões do país, e tendo em conta trabalhos, desenvolvidos por outros grupos, que permitiram a obtenção do calor gerado por Fontes de calor de origem radioativa bem como a estrutura e espessura das diferentes camadas da crosta superior, foi possível obter, através de modelos numéricos (Duque,2020), 20 valores de fluxo de calor em regiões sem medições. Para além dos dados de fluxo de calor existem também, em cada local de medição, dados da condutividade térmica dos materiais atravessados na perfuração e o gradiente de temperatura medido.

A análise e explicação dos resultados de fluxo de calor obtidos só foi possível devido a estudos realizados e publicações apresentadas por diferentes grupos de trabalho, nomeadamente a publicação da Carta Radiométrica de Portugal Continental (LNEG, 2013), a determinação de calor por elementos radioativos obtida através de amostragem e trabalho laboratorial na região norte e centro do país (Lamas et al, 2015;

Lamas et al, 2017) e os avanços verificados no conhecimento da estrutura e da espessura das diferentes camadas constituintes da crosta (Veludo et al, 2017) bem como trabalhos de localização precisa e tipos de falhas existentes.

Os dados de fluxo de calor em Portugal apresentam valores relativamente elevados face aos esperados com base na idade geológica das formações onde foram medidos. Os valores elevados de condutividade térmica aparecem associados a porosidade muito baixa e a anomalias positivas do campo geomagnético. Os valores elevados de gradientes de temperatura foram mais difíceis de entender. A sua explicação apareceu com o estudo das fontes de calor na crosta (origem radioativa e reações químicas exotérmicas). Os dados obtidos na zona centro do país (Beiras) eram em número reduzido, apresentavam valores inferiores aos obtidos na Faixa Piritosa no Alentejo e apresentavam dispersão elevada em furos relativamente próximos. Os trabalhos de sismologia (Veludo et al, 2017) mostraram que as zonas de falha detectadas à superfície se prolongam em profundidade sendo possível relacionar os valores mais baixos do fluxo com regiões onde possivelmente o fluxo de calor que chega à superfície da terra por advecção não poderá ser desprezado e, por isso, o fluxo de calor por condução terá um valor inferior ao obtido nos outros pontos.

A utilização dos dados obtidos nos trabalhos de prospeção de petróleo/gás foi muito importante pois devido à profundidade atingida, foi possível identificar variações de fluxo com a profundidade e explicar diferentes valores obtidos em furos de menor profundidade. A existência de diagrfias de radiação gamma bem como de porosidade permitiu a obtenção de valores de condutividade térmica bem como distribuição de calor por fontes radioativas em profundidade.

O trabalho ainda não está completo mas os resultados obtidos até agora permitem-nos dizer claramente que os resultados de fluxo de calor de origem geotérmica traduzem características próprias da crosta bem como das fontes térmicas existentes a nível da crosta próximo da superfície e em regiões mais profundas pois o fluxo Q_m , proveniente de zonas mais profundas também apresenta valores relativamente elevados.

Agradecimentos: Foram muitos os que direta ou indiretamente participaram na realização deste trabalho. Não é possível enumerá-los a todos, no entanto existem 3 pessoas cujo trabalho foi decisivo e que, infelizmente, já não se encontram entre nós. São eles:

Lúis Carlos Almeida (Geólogo-INMG), membro do 1º grupo de trabalho encarregado de medir o fluxo geotérmico em Portugal.

Lúis Torres (geofísico-LNEG), trabalhos para obtenção da Carta de Radioatividade de Portugal.

Idalina Veludo (Geofísica-IPMA), estrutura e espessura das diferentes camadas da crosta a partir de dados de sismologia.

Referências

- Duque, M.R. (2020). Numerical Simulations of Terrestrial Heat Flow in Beiras Region, Mainland Portugal. *International Journal of Terrestrial Heat Flow and Applied Geothermics*, 3, 32-37.
- Lamas, R., Miranda, M., Pereira, A., Ferreira, N., Neves, L. (2015). Distribuição dos elementos radiogénicos nas rochas granitoides aflorantes na Zona Centro- Ibérica (Centro e Norte de Portugal). *Proceedings do X Congresso Ibérico de Geoquímica*, 173-176.
- Lamas, R., Miranda, M.M., Pereira, A., Neves, L., Ferreira, N., Rodrigues, N. (2017). 3-D distribution of the radioelements in the granitic rocks of Northern and Central Portugal and geothermal implications. *Journal of Iberian Geology*, 43, 3-12.
- LNEG (2013). Carta Radiométrica de Portugal Continental, escala 1:500 000.
- Veludo, I., Dias, N., Fonseca, P. E., Matias, L., Carrilho, F., Haberland, C., Villaseñor, A. (2017). Crustal seismic structure beneath Portugal and Southern Galicia (Western Iberia) and the role of Variscan inheritance. *Tectonophysics*, 717, 645-664.

Aplicação do método de resistividade elétrica na caracterização do calcário em exploração numa pedreira de rocha ornamental

Application of the electrical resistivity method in the characterization of limestone in a quarry of ornamental rock

A. Gomes (1), J. Duarte (2) e J. Ribeiro (3,4)

(1) Universidade de Coimbra, Departamento de Geociências & Centro de Geociências da Universidade de Coimbra Portugal, alexgomes20@hotmail.com.

(2) IQGeo & Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Portugal

(3) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, Portugal.

(4) Instituto Dom Luiz, Portugal.

Summary: *The main goal of this work is the characterization of the limestone exploitation in the quarry "EM&R nº 6478", based on the application of the geophysical electrical resistivity method, to plan and optimize the limestone exploitation for production of dimensional stone. With the limestone characterization it is aimed the identification of the areas of the massif with grayish coloring, which has less economic interest. It was found that the electrical resistivity values suffer significant variations in contact zones between the lighter-colored areas and the grayish colored areas of the limestone. It was also found that the darker limestone presents a clay fraction in its composition, that may explain the lower electrical resistivity, comparing to the whitened limestone. The methodology proved to be very effective in the future planning of the exploitation, allowing the best orientation of the dismantling fronts to make the exploitation as profitable as possible.*

Key words: *dimensional limestone, electrical resistivity tomography, limestone characterization, clay fraction, exploitation planning*

Palavras-chave: calcário ornamental, tomografias de resistividade elétrica, caracterização de calcários, fração argilosa, planeamento da exploração

O calcário Creme Valinho (CVV), explorado na pedreira EM&R nº 6478, é uma rocha carbonatada de cor bege claro com leve tonalidade acinzentada (EM&R, 2017), datado do Caloviano, final do Jurássico Médio.

Tratando-se de um recurso natural, apresenta variações na coloração (entre cor creme e uma coloração acinzentada - fig. 1) que comprometem a sua comercialização para fins ornamentais, sendo por isso necessário um bom planeamento e otimização da sua exploração, que garanta a obtenção de um produto com as características e qualidade desejáveis e, por outro lado, a minimização de desperdícios.



Fig. 1. Fotografia de pormenor do calcário, com variação de cor.

Tendo como objetivo otimizar o planeamento da exploração do calcário, foi executada uma campanha de prospeção geofísica, com a aplicação do método de resistividade elétrica e aplicação do dispositivo Wenner, numa secção da pedreira em exploração onde as diferentes tonalidades estão expostas. Pretendeu-se encontrar variações nos valores de distribuição de resistividade elétrica e, dessa forma, definir uma metodologia que permitisse identificar espacialmente as diferentes tonalidades do calcário (Gomes, 2022).

O dispositivo Wenner é caracterizado por preservar uma distância fixa entre os quatro elétrodos e possuir uma relativa sensibilidade a variações de resistividade verticais, nomeadamente a estruturas dispostas horizontalmente. Relativamente às profundidades de investigação, estas podem ser de até 50% o espaçamento utilizado entre elétrodos (Loke, 1999).

Foram efetuadas seis tomografias de resistividade elétrica (TRE), predispostas sub-paralelamente entre si e à própria frente de desmonte, o que permitiu comparar os resultados obtidos com as ocorrências verificadas *in situ* (Fig. 2). Procedeu-se ainda a análise petrográfica (através de microscopia ótica) e mineralógica (através de difração de raios-X - DRX) de amostras do calcário explorado na pedreira e com as colorações diferentes com o objetivo de perceber a causa da variação na coloração.



Fig. 2. Localização e predisposição das tomografias de resistividade elétrica (P1 a P6).

Relativamente aos resultados obtidos com o processamento dos dados das TRE, verifica-se que os calcários de tonalidade mais acinzentada apresentam valores de resistividade elétrica, significativamente, mais baixos dos que os calcários de tonalidade mais creme. O valor médio obtido experimentalmente para o calcário mais acinzentado foi de 3160 Ω .m, enquanto para o calcário mais creme, os valores médios obtidos, foram da ordem dos 4997 Ω .m.

Observando o terreno, parece haver uma correspondência entre a variação de valores de resistividade com a proximidade das descontinuidades estruturais do maciço (Fig. 3). É mais expressiva nas proximidades da transição entre

o calcário de tonalidade mais creme e o calcário de tonalidade mais acinzentada.



Fig. 3. Secção de resistividade elétrica, projetada na frente de desmonte da TRE 4 e marcação (tracejado a vermelho), de possíveis descontinuidades estruturais.

Os resultados obtidos através da DRX indicam a presença de uma fração argilosa na composição do calcário de tonalidade mais acinzentada, que não se identifica no calcário de tonalidade mais creme. Também as observações petrográficas permitem identificar uma fração detrítica na bordadura dos cristais de calcite em amostras do calcário mais acinzentado.

Com base neste elemento é de equacionar que para além da influência da circulação de fluidos no interior do maciço, a componente mineralógica pode ser um fator determinante para a variabilidade encontrada. Assim poderá ser essa fração argilosa a responsável pela origem da tonalidade mais acinzentada e variação da resistividade do calcário.

Conclui-se que o calcário mais acinzentado da pedreira estudada, e com maior percentagem de argilas, tende a ser menos resistivo do que o calcário de tonalidade mais creme. Tal especificidade poderá servir de marcador para localizar o calcário de menor interesse comercial e, deste modo, planear e otimizar a lavra.

Agradecimentos: À empresa Eduardo Marques Rosa, Lda., à IQGeo – Serviços Lda., e ao Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.

Referências

- Gomes, A. F. (2022). Estudo da coloração de calcários ornamentais para planeamento e otimização de explorações - contributos com a integração de dados geofísicos e ensaios de laboratório. [Dissertação Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.].
- EM&R. (2017). Ficha técnica de produto (documento interno). Eduardo Marques e Rosa, Lda.
- Loke, M. H. (1999). Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys, 2, 70.

Anomalias gravimétricas na região Centro de Portugal: detecção de estruturas geológicas e estimativa da profundidade do corpo-fonte

Gravity anomalies in the Central region of Portugal: geological structures detection and depth body-source estimation

A. Machadinho (1), F. Figueiredo (2) e A. Pereira (3)

(1) Centro de Geociências, Universidade de Coimbra, ana.machadinho@dct.uc.pt

(2) Centro de Geociências, Universidade de Coimbra

(3) CITEUC – Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Universidade de Coimbra

Summary: *The aim of this study is to identify gravity anomaly sources associated with faults and geological contacts and estimate their depth using different interpretation techniques. The study area is located in the Central Iberian Zone where variscan granitoids predominate, emplaced into the “Complexo Xisto-Grauváquico” (CXG). Our results show that the maps derived from the complete Bouguer anomaly, namely the vertical gradient, the horizontal gradient and the analytical signal, highlight a correlation between the density contrast and the main geological discontinuities, either faults or geological contacts. The wavelet transform analysis also allows the location and characterization of the main structural and geological discontinuities, while the Euler deconvolution allow us to estimate the depth of anomaly sources.*

Key words: *Bouguer anomaly, horizontal gradient, vertical gradient, analytic signal, Euler deconvolution*

Palavras-chave: anomalia de Bouguer, gradiente horizontal, gradiente vertical, sinal analítico, deconvolução de Euler.

As anomalias gravimétricas reflectem as variações laterais de densidade na crosta. O contraste do gradiente de gravidade permite localizar discontinuidades estruturais e geológicas, como falhas e contactos geológicos. A interpretação das anomalias gravimétricas possibilita assim, a identificação e a caracterização dos corpos-fonte causativos da anomalia (localização, forma, tamanho, profundidade, entre outras) e o posterior reconhecimento da estrutura geológica.

Neste estudo pretende-se localizar fontes de anomalias e estimar a sua profundidade, particularmente associadas a falhas e contactos geológicos, através da aplicação de diferentes técnicas geralmente usadas na interpretação de anomalias gravimétricas.

A área em estudo enquadra-se no sector da Zona Centro-Ibérica (ZCI), sendo o maciço hespérico caracterizado por rochas granitóides variscas, que intruíram as sequências metassedimentares ante-ordovícicas do Complexo Xisto Grauváquico (CXG). Na zona ocidental desenvolve-se a Bacia Lusitânica, cuja evolução foi condicionada pela distensão mesozóica relacionada com a abertura do Atlântico Norte.

O mapa da anomalia de Bouguer completa da região Centro de Portugal foi construído com dados terrestres de gravidade procedentes do Instituto

Geográfico Português (IGP), do *Bureau Gravimétrique International (BGI)* e dos dados da campanha de prospecção gravimétrica apresentada em Machadinho (2014). Os dados foram processados, tendo sido aplicadas as correcções gravimétricas padrão.

Os filtros digitais no domínio da frequência, tarefa executada pelo uso da transformada de Fourier, têm sido extensivamente usados na interpretação de anomalias gravimétricas e anomalias magnéticas (Nabighian, *et al.* 2005). A derivada vertical realça os comprimentos de onda curtos resultantes das fontes de anomalias superficiais. A derivada horizontal é geralmente usada na localização de contactos geológicos e lineamentos estruturais, sendo melhor sucedida na detecção de discontinuidades sub-verticais. Cordell (1979) demonstrou que os picos de magnitude do gradiente horizontal total em anomalias de gravidade permitem cartografar limites de contraste de densidade quase verticais, como falhas e contactos geológicos. O gradiente total, também designado por sinal analítico, é outro método geralmente usado na localização de limites geológicos e estruturais (Roest *et al.*, 1992).

A análise da transformada de onduleta é uma técnica de processamento de sinal utilizada com distintos propósitos, que constitui uma alternativa à análise de

Fourier. A análise multi-escala dos valores máximos da transformada de onduleta é também usada na localização de limites e definição da geometria de corpos-fonte a partir de dados de campo potencial (Hornby *et al.*, 1999; Holden *et al.*, 2000; Martelet *et al.*, 2001).

Para estimar a profundidade dos corpos-fonte, nomeadamente relacionados com a presença de falhas ou contactos geológicos, aplicou-se a deconvolução de Euler. Esta técnica permite obter um mapa da distribuição espacial das fontes de anomalia quantificando a sua profundidade (Reid *et al.*, 1990).

Na interpretação das anomalias gravimétricas na área em estudo foram aplicadas as técnicas referidas anteriormente, nomeadamente o cálculo do gradiente horizontal, do gradiente vertical, do sinal analítico, a análise da transformada de onduleta e a deconvolução de Euler.

Em geral, os mapas derivados da anomalia de Bouguer completa, nomeadamente o gradiente vertical, o gradiente horizontal e o sinal analítico, mostram uma correlação bem marcada com as variações de densidade associadas às unidades geológicas cartografadas na região e com o contraste acentuado do gradiente e a presença de descontinuidades (sejam falhas ou contactos geológicos). O mapa do gradiente horizontal

apresenta a sua magnitude máxima nas zonas de maior contraste da densidade. A linha de contorno $0.002 \text{ mGal.m}^{-1}$ delimita zonas com magnitude elevada, promovendo a localização de contactos aparentemente lineares e contínuos, os quais são concordantes com os contactos geológicos cartografados, particularmente quando a fronteira do corpo-fonte é sub-vertical. No entanto, quando o contacto do corpo-fonte é inclinado as zonas de contacto ocorrem deslocadas da sua verdadeira localização. Neste caso observam-se zonas de contacto alargadas, que indicam a presença de um contacto gradual, devido ao contacto inclinado em profundidade. Estas zonas aparecem deslocadas para fora ou para dentro relativamente ao contacto geológico cartografado à superfície, consoante a direcção do mergulho do contacto. A análise multi-escala da transformada de onduleta aplicada ao mapa da anomalia de Bouguer completa também permite localizar e caracterizar as principais descontinuidades estruturais e geológicas. As soluções da deconvolução de Euler estão em conformidade com os resultados das técnicas anteriores, no que se refere à localização das fontes de anomalia associadas a falhas ou contactos geológicos, e permitiram também obter uma estimativa da profundidade das fontes de anomalia.

Agradecimentos: Trabalho financiado por Fundos Nacionais (FCT) através do projeto UIDB/ 00073/2020 e pela Bolsa de Doutoramento da FCT, SFRH/BD/48628/2008.

Referências

- Cordell, L. (1979). Gravimetric expression of graben faulting in Santa Fe County and the Espanola basin, New Mexico. *In*: R.V. Ingersoll (ed.), *Guidebook to Santa Fe County: New Mexico Geological Society*, 59-64.
- Holden, D.J., Archibald, N.J., Boschetti, F., Jessell, M.W. (2000). Inferring geological structures using wavelet-based multiscale edge analysis and forward models. *Exploration Geophysics*, 31 (4), 67-71.
- Hornby, P., Boschetti, F., Horowitz, F.G. (1999). Analysis of potential fields data in the wavelet domain. *Geophysical Journal International*, 137 (1), 175-196.
- Machadinho, A. (2014). Modelação da geometria de rochas granitóides recorrendo a métodos geofísicos gravimétricos e magnéticos: uma contribuição para a avaliação do potencial geotérmico na região Centro de Portugal. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, 320 pp.
- Martelet, G., Sailhac, P., Moreau, F., Diament, M. (2001). Characterization of geological boundaries using 1-D wavelet transform on gravity data: Theory and application to the Himalayas. *Geophysics*, 66 (4), 1116-1129.
- Nabighian, M.N., Ander, M.E., Grauch, V.J.S., Hansen, R.O., LaFehr, T.R., Li, Y., Pearson, W.C., Peirce, J.W., Phillips, J.D., Ruder, M.E. (2005). 75th Anniversary - Historical development of the gravity method in exploration. *Geophysics*, 70 (6), 63-89.
- Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A.J., Somerton, I.W. (1990). Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55 (1), 80-91.
- Roest, W.R., Verhoef, J., Pilkington, M. (1992). Magnetic interpretation using the 3D analytic signal. *Geophysics*, 57 (1), 116-125.

Caracterização Hidrogeológica e Geofísica da Região Envolvente da Captação-ETA da Ribeira de Alge (Figueiró dos Vinhos)

Hydrogeological and Geophysical Characterization of the Surrounding Region of the Ribeira de Alge ETA (Figueiró dos Vinhos)

C. Marques (1), J. M. Azevedo (2) e F. P. Figueiredo (3)

(1) Universidade de Coimbra, FCTUC, DCT, carlosaamarques@outlook.com

(2) Universidade de Coimbra, FCTUC, DCT e Centro de Investigação da Terra e do Espaço-CITEUC, jazevedo@dct.uc.pt

(3) Universidade de Coimbra, FCTUC, DCT e Centro de Geociências – CGeoUC, fpedro@dct.uc.pt

Summary: *In the studied area occur metamorphic rocks from Pre-cambrian and Paleozoic ages, and sedimentary rocks and deposits from Mesozoic ages until Present. Hydrogeologically, the area is inserted in the Maciço Antigo Unit. Some local-scale aquifer units evolve in this sector, some associated to the alluvial deposits and other within the metamorphic terrains. The geophysical prospecting using electromagnetic methods in frequency domain exposed three anomalies with good aquifer potential: one of them show an intensive fracture and another's are associated to the geologicals contacts between Precambrian shales and Ordovician quartzites.*

Key words: *Ribeira de Alge, Geology, Geophysical prospecting, Hydrogeology, Aquifer*

Palavras-chave: Ribeira de Alge, Geologia, Prospeção geofísica, Hidrogeologia, Aquífero

O domínio estudado está inserido na bacia hidrográfica da Ribeira de Alge. Esta bacia apresenta uma forma alongada segundo a direção NNE-SSW, sendo um dos principais afluentes da margem direita do Rio Zêzere.

A nível geológico, o domínio em estudo está inserido maioritariamente na Unidade geológico-estrutural do Maciço Antigo, contendo rochas com idades que variam entre o Pré-câmbrico e o Paleozoico. Ocorrem ainda rochas mais recentes do Mesozóico, pertencentes à Unidade geológica da Orla Mesocenozóica Ocidental. Esta região apresenta um forte controlo estrutural, derivado da Orogenia Hercínica, apresentado uma orografia com vales estreitos e encaixados. Nos domínios circundantes da ETA afloram formações xistentas do Complexo xistograuváquico, rochas quartzíticas do Ordovícico e depósitos aluvionares recentes (Figura 1).

A realização de 3 perfis de prospeção geofísica com o método de prospeção electromagnético no domínio frequência com os equipamentos Geonics EM34 e EM31, permitiu sinalizar: (1) três locais com maior fraturação; (2) um local com potencial interesse para a implantação de furos para captação de massas de água subterrânea (Figura 2). As anomalias geradas estão associadas às fraturas locais, correspondendo a

anomalia com valores de condutividade elétrica aparente mais elevados à unidade geológica dos quartzitos do Ordovícico, evidenciando a rede de fraturas bem desenvolvida, favorecendo a circulação e o armazenamento de água subterrânea, exibindo a elevada produtividade a nível hidrogeológico, sendo esta observada e confirmada em 2 dos perfis realizados. Recorreu-se ao método de interpolação de *Krigagem* para elaboração dos perfis, aplicando o cálculo da média aritmética nas secções verticais (VD's) e horizontais (HD's) (Figueiredo, 2006).

Ao nível hidrogeológico, o domínio estudado situa-se na Unidade hidrogeológica do Maciço Antigo Indiferenciado. Neste domínio ocorrem várias unidades aquíferas – nos depósitos aluvionares – ou potencialmente aquíferas – nas formações quartzíticas e nos locais mais fraturados. A recarga aquífera resulta maioritariamente da infiltração e da transferência do escoamento superficial resultante da precipitação atmosférica; ocorre ainda recarga a partir da circulação subterrânea entre outras massas de água (Figura 3). A descarga aquífera decorre por processos naturais através da evaporação, evapotranspiração, e para unidades aquíferas profundas, e ainda por processos induzidos como furos, poços e minas de água.

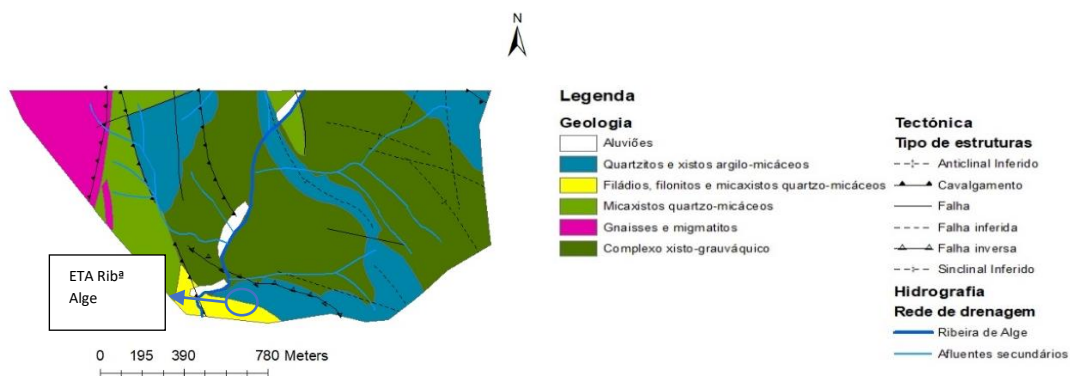


Fig. 1. Representação do enquadramento geológico do domínio estudado com localização de: (1) principais depósitos aluvionares locais; (2) principais zonas de fraturas; (3) rede de drenagem (adaptado de Gama Pereira, 1987).

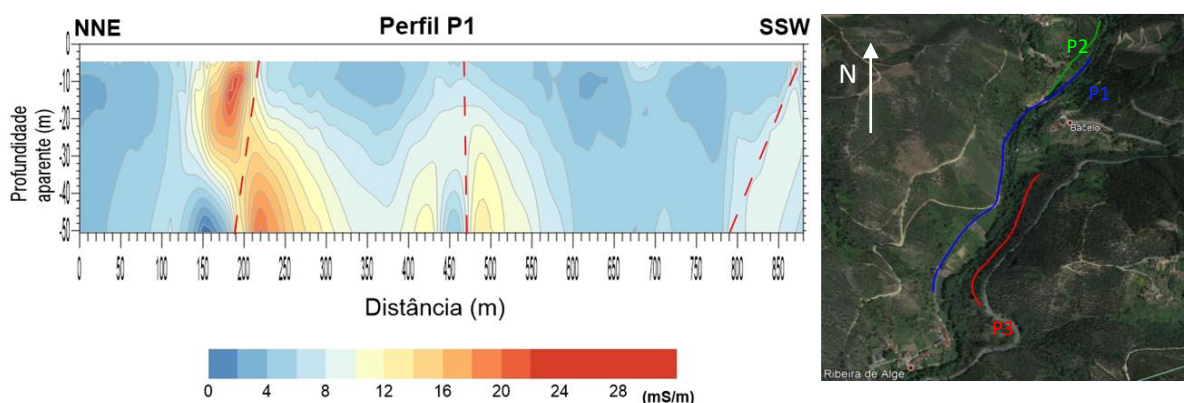


Fig. 2. Perfil P1 de condutividade eléctrica aparente e respetiva interpretação, com uma das maiores anomalias registadas, evidenciando a rede de fraturas bem desenvolvida nesta zona (o perfil representado não apresenta cotas topográficas reais, contudo sendo o local dos perfis levemente aplanado) (esquerda). Localização dos perfis efetuados (direita) (adaptado de Marques, 2020).

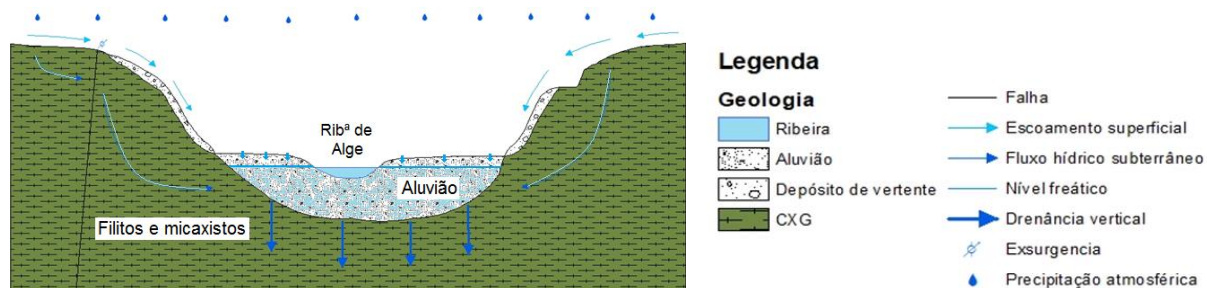


Fig. 3. Modelo hidrogeológico conceptual para o domínio estudado (adaptado de Marques et al, 2022).

Agradecimentos: À empresa Águas do Centro-Litoral pela disponibilização de elementos relativos à Captação-ETA da Ribª de Alge.

Referências

- Figueiredo, F. P. O. (2006). Estudo de uma pluma de contaminação pelo método de prospecção electromagnético no domínio frequência. Geria, Coimbra. Actas do 8º Congresso da Água. 13 a 17 de março, Figueira da Foz: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Comunicação 171, CD-ROM.
- Gama Pereira, L.C. (1987). Tipologia e evolução da sutura entre a ZCI e a ZOM no sector entre Alvaiázere e Figueiró dos Vinhos (Portugal Central). - Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra.
- Marques, C. (2020). Caracterização hidrogeológica e geofísica da região envolvente da captação-ETA da Ribeira de Alge (Figueiró dos Vinhos) – Avaliação das reservas hídricas dos depósitos aluvionares. – Tese de Mestrado em Geociências, DCT-Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Marques, C.; Azevedo, J.M. & Figueiredo, F.P. (2022) Importância das massas de água associadas a depósitos aluvionares de reduzida dimensão: o caso de estudo da Ribeira de Alge (Figueiró dos Vinhos). - 13.º Seminário sobre Águas Subterrâneas “O papel das águas subterrâneas na sustentabilidade das cidades do século XX”. Universidade de Lisboa.

Self-updating local anisotropies in geostatistical seismic inversion to improve subsurface geological models

Anisotropias locais auto-atualizáveis em inversão sísmica geoestatística para melhorar modelos geológicos de subsuperfície

A. Pereira (1), L. Azevedo (2) and A. Soares (3)

(1) CERENA/DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal; IPMA-Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Lisboa, Portugal – angela.pereira@ipma.pt

(2) CERENA/DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

(3) CERENA/DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

Sumário: Os métodos de inversão sísmica são usados para estimar a geologia de subsuperfície, pois permitem gerar modelos das propriedades petro-elásticas das rochas a partir de dados de reflexão sísmica. Normalmente, estes métodos usam um modelo de variograma global ou local fixo, que traduz o padrão de continuidade espacial das propriedades das rochas, guiando e condicionando o processo de inversão. Isto pode levar a incorreções e incertezas nos modelos gerados, em particular em ambientes geológicos complexos, associados a estruturas geológicas com padrões espaciais com anisotropias locais, como é o caso dos canais, falhas ou dobras. O presente trabalho, propõe um método geoestatístico de inversão sísmica que atualiza iterativamente os modelos de continuidade espacial local, a partir dos dados e usando a técnica de template matching. Os resultados demonstraram o benefício de atualizar os padrões de continuidade espacial local, gerando modelos geológicos de subsuperfície mais consistentes e reduzindo a incerteza associada.

Palavras-chave: modelos geológicos de subsuperfície, inversão sísmica, anisotropia local, auto-atualização, correspondência de padrões.

Key words: subsurface geological models, seismic inversion, local anisotropy, self-update, template-matching.

Seismic inversion methods are used to predict subsurface geology, from seismic data into numerical models of petro-elastic rock properties and facies. There are two main groups of seismic inversion methods, with different assumptions, advantages and limitations (Bosch et al. 2010). One group are deterministic seismic inversion methods (e.g., Russell and Hampson 1991), which can be summarized as optimization procedures, who give a single best-fit solution, not allowing assessing the uncertainty of the inverted models, and which is a smooth representation of the subsurface geology. The second group are statistical-based seismic inversion methods. Contrary to deterministic methods, they allow assessing the uncertainty of the inverted models (Azevedo and Soares 2017).

Nevertheless, iterative geostatistical seismic inversion methods have some limitations related to the use of a single global variogram or a local fixed one, to describe the spatial continuity pattern of the subsurface geology, particularly in complex geological scenarios, due to local anisotropies (i.e., channels, faults or folds). To surpass this limitation, we propose herein an iterative geostatistical seismic inversion

method, which iteratively self-updates the local spatial continuity models using the template matching technique.

Template matching is a widely used technique for feature detection (e.g., edge detection) (Brunelli 2009). Templates are predefined kernels, which are used to scan an image and test a matching criteria between the image and the template. In the proposed method, template matching is used due to its low computational cost and facility of implementation, to obtain the local spatial continuity models, acting as proxy of local experimental variogram models.

The proposed method, the Geostatistical Seismic Inversion with Self-Update Local Anisotropies (GSI-LA-Self-Update) (Fig. 1), follows the geostatistical seismic inversion framework (GSI; Soares et al. 2007), and consists in iteratively self-updating the local spatial continuity models (i.e., local variogram models) directly from the data, based on the mismatch between observed and synthetic seismic data. The method can be summarized into four main steps: (1) initial data and stochastic sequential simulation (Soares 2001) of acoustic impedance (Ip) models; (2)

forward modelling and generation of synthetic seismic data; (3) local anisotropy update with template matching; and (4) stochastic update of the model parameters with stochastic sequential co-simulation (Soares 2001).

In the proposed method, the templates have predefined parameters such as direction and anisotropy ratio, and are used to scan the pointwise average model (E-type) of the N realizations of I_p models generated at a given iteration. At each location, the variance between all the I_p values of a given template is computed. The template with the minimum variance is selected as representative of the local spatial continuity model.

The proposed method was successfully applied to a synthetic and real case examples, and was benchmarked against an iterative geostatistical

seismic inversion (GSI) with a global variogram model (Soares et al. 2007), and to geostatistical seismic inversion with local anisotropies (GSI-LA) with fixed local variogram models (Pereira et al. 2020). The comparison between the three methods was based on the reproduction of the true seismic amplitude, on the spatial continuity of the synthetic seismic, on the acoustic impedance models and corresponding facies prediction.

Iteratively self-updating the local variogram models, during the geostatistical seismic inversion, as proposed by GSI-LA-Self-Update, improves the estimation of local anisotropies in complex geological scenarios, leading to more robust and reliable predictions of the subsurface geology.

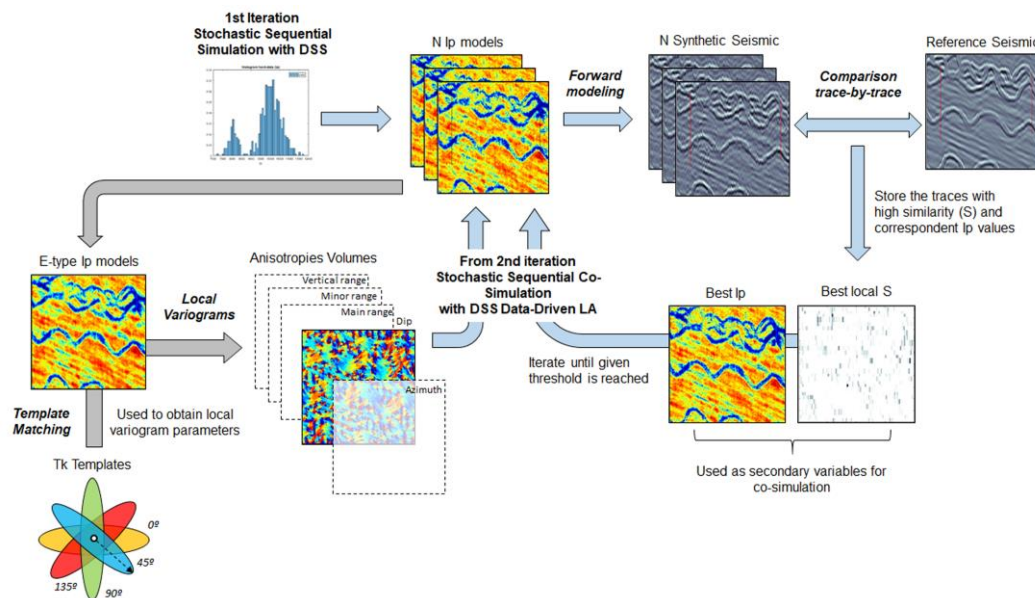


Fig. 1. Schematic representation of the iterative geostatistical seismic inversion with self-update local anisotropies (GSI-LA-Self-Update).

Acknowledgements: The authors gratefully acknowledge the support of the CERENA, the University of Lisbon and the FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT SFRH/BD/136316/2018). The authors also thank Partex Oil and Gas for the real dataset.

References

- Azevedo, L. & Soares, A. (2017). Geostatistical methods for reservoir Geophysics. Springer, Berlin.
- Bosch, M., Mukerji, T. & González, E.F. (2010). Seismic inversion for reservoir properties combining statistical rock physics and geostatistics: a review. *Geophysics* 75(5):75A165–75A176.
- Brunelli R (2009) Template matching techniques in computer vision: Theory and practice. Wiley
- Russell, B. & Hampson, D (1991). Comparison of poststack seismic inversion methods. In: 61st Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 876–878.
- Soares, A. (2001). Direct sequential simulation and cosimulation. *Math Geol* 33(8), 911–926.
- Soares, A., Diet, J.D. & Guerreiro, L. (2007). Stochastic inversion with a global perturbation method. *Stochastic inversion with a global perturbation method*. Petroleum Geostatistics. EAGE, Amsterdam, 10–14.

SESSÃO CIENTÍFICA 10 (SC_10)
(Geoquímica)

Conveners: Deolinda Flores; Eduardo Ferreira da Silva; Maria Manuela Vinha

Dados geocronológicos para o soco pré-Mesozoico localizado a Oeste da Falha Porto-Tomar: implicações geodinâmicas

Geochronological data for the Pre-Mesozoic basement located west of the Porto-Tomar Fault: geodynamic implications

T. Bento dos Santos (1,2), M. Chichorro (3), D. Carvalho (2,4), P. Cachapuz (1), A.R. Solá (4), E. Dantas (5), J. Romão (4), N. Moreira (6), Í. Dias da Silva (1), E. Clavijo (7), A. Díez-Montes (7), P. Valverde (7), R.V. Santos (5) e U. Linnemann (8)

- (1) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal
- (2) DG-FCUL – Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal
- (3) FCT-UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, ma.chichorro@fct.unl.pt
- (4) LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Alfragide, Portugal
- (5) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasil
- (6) IIFA - Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra - Polo de Évora
- (7) IGME – Instituto Geológico e Minero de España, Salamanca/Madrid, Espanha
- (8) Senckenberg Naturhistorische Sammlungen Dresden, Alemanha

Summary: Geochronological data from the pre-Mesozoic basement of the Lusitanian Basement (West of the Porto-Tomar Fault) was obtained. Results show a predominant Cadomian/Pan-African and Eburnean inheritance/source, placing this sector as a peri-Gondwanan domain. However, two major differences can be seen in the data: samples with a clear absence in Mesoproterozoic ages vs. samples with a clear presence of these ages and Silurian-Devonian ages. If the former show clear signs of affinity with the Ossa-Morena Zone, the latter are similar to the South Portuguese Zone, being one of the samples, probably deposited in the Middle-Upper Devonian, interpreted as having a mixed source.

Key words: U-Pb geochronology, zircon, detrital provenance, Cadomian Orogeny

Palavras-chave: Geocronologia U-Pb, zircão, proveniência detrítica, Orogenia Cadomiana

A Bacia Lusitânica, localizada a Oeste da Falha Porto-Tomar (FPT) e formada durante as primeiras fases de abertura do Atlântico Norte, desenvolveu-se sobre o soco varisco que, por ter apenas exposição pontual, permanece associado a várias dúvidas quanto à sua natureza, considerando as subdivisões do Maciço Ibérico. A visão tradicional de que a maioria das unidades que se situam a Oeste da FPT pertencem à Zona de Ossa-Morena (ZOM) tem sido, nos últimos anos, substituída por um modelo de terreno exótico sem afinidade com o Maciço Ibérico (Moreira et al., 2019). A estes modelos geodinâmicos acrescentam-se agora dados geocronológicos de amostras colhidas ao longo das estreitas faixas de rochas aflorantes de idade pré-mesozoica em três pontos estratégicos: a) ao longo da FPT, entre Tomar e Coimbra; b) em xenólitos da Brecha Vulcânica da Papôa (Rosa et al., in press); e c) no Complexo Anatéctico dos Farilhões, localizado *offshore* no Horst das Berlengas (Fig. 1). Análises U-Pb em zircão (LA-ICP-MS) forneceram os seguintes resultados: a) **Amostra CMB-2A** – Filito da região de Coimbra junto à FPT, datado em 100 spots, sendo 79 concordantes (90-110% de concordância) com distribuição de idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ou $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$

entre 374 e 3258 Ma. Os mais importantes picos de idade são 598 e 635 Ma com distribuição contínua de idades meso- (1309-1672 Ma) e paleoproterozoicas (1825-2265 Ma). O Arcaico também está presente com 2 idades (2865 e 3265 Ma). A MDA (*Maximum Deposition Age*) é 550.1 Ma (n=7). Duas idades mais jovens (374 e 418 Ma) sugerem que a idade real de deposição deverá ser ainda mais jovem que a MDA;

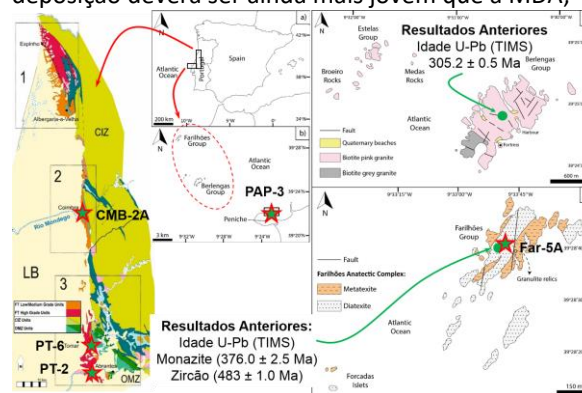


Fig. 1. Mapa da região de estudo com localização das amostras. Modificado a partir de Moreira et al. (2019) e Rosa et al. (in press).

b) **Amostra PT-2** – Metatextito do Complexo de São Pedro de Tomar (Moreira et al., 2019) localizado

junto à Barragem de Castelo de Bode. Datado em 54 *spots* (33 concordantes), apresenta idades entre 505 e 3268 Ma. Os picos de idade principais são: 569 e 615 Ma. Ainda importantes destacam-se vários pequenos picos entre 707 e 1015 Ma, total ausência de idades entre o Mesoproterozoico e o Paleoproterozoico superior e 5 idades entre 1.8 e 2.2 Ga. A MDA estimada é de 570.5 Ma (n=4); c) **Amostra PT-6** – Ortognaisse do Couço dos Pinheiros (Moreira et al., 2019) colhido a NE de Tomar. Esta amostra foi datada em 50 *spots* (41 concordantes), apresentando idades entre 479 e 1946 Ma. O pico de idade mais importante situa-se aos 566 Ma. Embora apresente idades mais jovens, interpretadas como resultantes de perturbação isotópica, a idade de cristalização do protólito magmático foi estimada em 545.8 ± 4.6 Ma (n=4). As idades mais antigas são interpretadas como herdadas; d) **Amostra PAP-3** – Xenólito de diatexito com pirometamorfismo aos 92 Ma (idade U-Pb em rútilo; Rosa et al., in press). Esta amostra foi datada em 50 *spots*, sendo a maioria discordante com tendência para a idade aos 92 Ma. Desta forma, recalcularam-se idades de discórdia superior (com discórdia inferior aos 92 Ma) para cada zircão de modo a retirar o efeito do pirometamorfismo e produzir resultados concordantes. O Neoproterozoico está muito bem representado com idades entre 550-780 Ma e um pico pronunciado aos 662 Ma. O Paleoproterozoico também está bem expresso (1800-2350 Ma) e duas idades mesoproterozoicas (1139-1358 Ma) são realçadas pela curva de idades. Uma idade aos 350 Ma poderá representar metamorfismo varisco. Globalmente, verifica-se que os resultados são similares aos da amostra CMB-2A, o que reforça a confiança no procedimento; e) **Amostra FAR-5A** – Diatexito do Complexo Anatéctico dos Farilhões. A amostra foi datada em 30 *spots* (21 concordantes) e apresenta idades entre 306 e 656 Ma. O maior pico de idade situa-se aos 384 Ma, seguido de um pico aos 347 Ma. Outros picos menores são: 306 Ma, 413-427 Ma, 482-511 Ma, 542-561 Ma, 607 Ma e 656 Ma.

Interpretação dos Resultados

Os resultados geocronológicos destacam as seguintes evidências: i) todas as amostras têm um predomínio

de picos de idade Cadomiana/Pan-Africana (550-650 Ma), presença constante de picos eburneanos (1.8-2.2 Ga) e idades arcaicas (2.6-3.3 Ga). Apenas a amostra FAR-5A não possui as idades mais antigas; ii) há uma clara divisão entre amostras com ausência ou presença de idades mesoproterozoicas, com ênfase para o intervalo Steniano-Toniano, e do Silúrico-Devónico. O predomínio de idades Cadomianas/Pan-Africanas, Eburneanas acessórias e arcaicas, em menor grau, são características dos terrenos perigondwânicos (Chichorro et al., 2022), inferindo-se que todas estas rochas apresentam uma associação com a génese e desmantelamento dos orógenos Cadomiano/Pan-Africano na dependência da margem Norte do Gondwana. A baixa representatividade de idades mesoproterozoicas é típica dos terrenos perigondwânicos que nunca se afastaram do bordo NW do Gondwana e que têm afinidade ao Cratão da África Ocidental (WAC). A amostra PT-2 é semelhante às rochas ediacáricas da ZOM e o ortognaisse PT-6 (545.8 Ma) é um testemunho do arco cadomiano na continuidade do domínio Abrantes-Mérida. A crescente abundância de idades mesoproterozoicas e a existência de idades do Silúrico-Devónico são típicas do supercontinente Laurússia, tal como observado nas rochas da Zona Sul-Portuguesa (ZSP). A presença de idades no intervalo 350-390 Ma nas amostras CMB-2A, PAP-3 e FAR-5A sugere forte afinidade à ZSP. Destaca-se ainda: a) a idade de 306 Ma no diatexito dos Farilhões, idêntica à idade do Granito das Berlengas (Rosa et al., in press e referências inclusas); b) a existência ou até abundância de picos de idade aos 480-530 Ma, revelando a importância dos eventos Rift-to-Drift; e c) as MDA obtidas (550-570 Ma) inserem-se no intervalo de idade dos sedimentos da Série Negra. Contudo, num dos casos (CMB-2A), a MDA não deverá corresponder à idade real de deposição, sugerindo-se como mais provável a idade devónica do zircão mais jovem. Esta idade de deposição poderá explicar o sinal misto de afinidade peri-gondwânica e laurússica desta amostra.

Assim sendo, e atendendo aos resultados obtidos, o soco da Bacia Lusitânica mais provavelmente deverá estar relacionado com a ZOM e a ZSP.

Referências

- Chichorro, M., Solá, A.R., Bento dos Santos, T.M., Lains Amaral, J. & Crispim, L. (2022). Cadomian/Pan-African consolidation of the Iberian Massif assessed by its detrital and inherited zircon populations: is the ~610Ma age peak a persistent Cadomian magmatic inheritance or the key to unravel its Pan-African basement? *Geologica Acta*, 20.15, 1-29.
- Moreira, N., Romão, J., Dias, R., Ribeiro, A & Pedro, J. (2019). The Finisterra-Léon-Mid German Crystalline Rise Domain; Proposal of a New Terrane in the Variscan Chain. In: Quesada, C., Oliveira, J.T. (eds.) *The Geology of Iberia: a geodynamic approach (Volume 2: The Variscan Cycle)*. Springer, Regional Geology Review, 207-228.
- Rosa, A.R., Cachapuz, P., Bento dos Santos, T., Pereira, I., Solá, A.R., Carvalho, D.R., Romão, J.M. & Valverde Vaquero, P. (in press). Tales from enclaves: the link between the Papôa Volcanic Breccia and the Berlengas Archipelago (W coast of Portugal). *Journal of Iberian Geology*.

Avaliação da aplicabilidade do método de análise por fluorescência de raio X em estudos de caracterização de solos contaminados

Evaluation of the applicability of the X-ray fluorescence analysis method in the assessment of contaminated soils

M.G. Brito (1) e E.Zungailia (2)

(1) GeoBioTec – Pólo NOVA, Monte Caparica, Portugal. mgb@fct.unl.pt

(2) EDZ Environmental Consulting, Lda

Summary: *The present work aims to evaluate the applicability of an expedite portable x-ray fluorescence (XRFP) equipment, as an analysis method to use for the characterisation of contaminated sites. With this purpose, the concentrations of inorganic contaminants were measured with an XRFP equipment and compared with the values of a certified laboratory. The XRFP equipment presented good results for the elements nickel, zinc, and lead contrary to the results obtained for chromium and arsenic. Given the variability and overestimation of some of the elements it is suggested that, for the use of XRF data in geoenvironmental projects it is necessary to validate and evaluate the reproducibility of the results with laboratory analysis.*

Key words: *x ray portable spectrometer (XRFP), validation method, chemical analysis, assessment of contaminated soils, geochemistry*

Palavras-chave: equipamento de fluorescência de raio-x portátil (XRFP), método de validação, análise química, avaliação de solos contaminados, geoquímica

Introdução

A espectroscopia de fluorescência de raios X (XRF) é um dos métodos mais amplamente utilizados para a determinação, não destrutiva, da geoquímica de rochas, sedimentos e amostras de material terrestre (Oyedotun, 2018). O presente trabalho pretende avaliar a fiabilidade dos resultados analíticos medidos através de um equipamento expedito de fluorescência de raios x portátil (XRFP), num estudo de avaliação de solos contaminados, com vista a aferir sobre a sua aplicabilidade como método de análise em estudos para a caracterização da contaminação e risco de terrenos contaminados (Pereira, 2022). Para tal, compararam-se as concentrações de arsénio, chumbo, cobre, crómio, níquel e zinco medidas com um equipamento XRFP e analisadas, pelo método analítico ICP-AES, em laboratório certificado, em 15 amostras de solo, para duas frações granulométricas distintas (fração total, inferior a 4mm e fração fina, inferior a 150 μm).

Métodos e resultados

O equipamento de XRFP utilizado foi o modelo X-200 da marca Sci-Aps. Este aparelho utiliza o sistema de EDXRF, e produz três fontes de energias de raios x primários com intensidades distintas que irão excitar elementos distintos (Pereira, 2022; XRF Analyzer - X-200, 2021). Em laboratório, foram preparadas 15 amostras de solo, colocadas a secar em estufa a 40

°C durante 240 horas e peneiradas com recurso a uma coluna de agitação e crivos para malhas de abertura de 4 mm e 150 μm . Uma parcela das amostras de solo com granulometria inferior a 150 μm , foi devidamente acondicionada e enviada para laboratório para análise através do método ICP-AES e a restante fração encapsulada para análise com o aparelho de fluorescência de raios x portátil (XRFP) (Pereira, 2022). O equipamento foi calibrado através de três amostras de solo certificadas e sobre cada cápsula foram realizadas 5 medições. Para o conjunto das medições efetuadas, foi avaliada e validada a reprodutibilidade (XRF Analyzer - X-200, 2022) dos resultados. Comparativamente aos valores XRFP obtidos nas frações fina (< 150 μm) e grosseira (<4 mm) dos solos, conclui-se que (Pereira, 2022): (i) a média dos valores de XRFP obtidos para a fração fina apresenta, para todos os elementos, valor superior aos obtidos para a fração mais grosseira; (ii) as concentrações dos elementos níquel, zinco e chumbo medidas com o XRFP são compatíveis com os valores obtidos em laboratório, sendo a diferença entre estas praticamente nula, à exceção do arsénio e do crómio, que apresentaram diferenças elevadas nos resultados, na ordem dos 70 e 50%, respetivamente (Pereira, 2022). Na figura seguinte apresentam-se, em gráfico de *box-plot*, os resultados dos elementos analisados, para as frações granulométricas, grosseira (<4 mm) (laboratório, a

cinzento) e mais fina ($< 150 \mu\text{m}$) (XRFP, a azul, e laboratório, a verde). Observa-se que (Pereira, 2022): (i) a fração fina do solo apresenta, para a generalidade dos elementos analisados, concentrações cerca de duas vezes superiores às observadas na fração mais grosseira ($< 4 \text{ mm}$), o que sugere que, à exceção do cobre, uma maior concentração dos contaminantes na fração mais fina ($< 150 \mu\text{m}$);

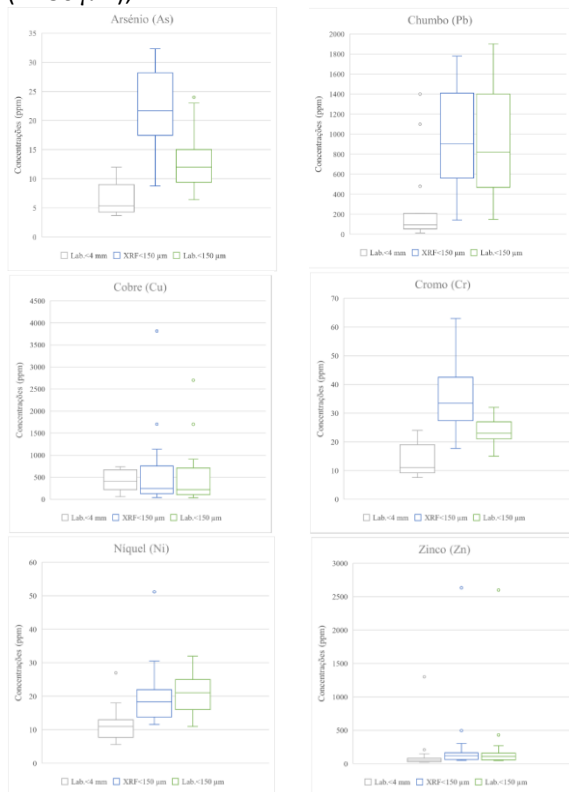


Fig. 1. Gráficos box-plots das concentrações dos elementos analisados por XRF, ICP-AES, para as distintas granulometrias (adaptado de Pereira, 2022)

(ii) relativamente à fração fina ($< 150 \mu\text{m}$): os valores obtidos para a maioria dos elementos são

Agradecimentos: Os dados apresentados e respetiva bibliografia, foram tratados no âmbito da dissertação de mestrado em Engenharia Geológica da Mestre Raquel Pereira, desenvolvida com o apoio da empresa EDZ *Environmental Consulting*, Lda, e no âmbito do projeto GeoBioTec (UIDB/04035/2020).

Referências

- Oyedotun, T. D. T., (2018). X-ray fluorescence (XRF) in the investigation of the composition of earth materials: a review and an overview. *Geology, Ecology, and Landscapes* 2.2 (2018), pp. 148–154. doi: 10.1080/24749508.2018.1452459. url: <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1452459>
- Pereira, R.D. (2022). Análise quantitativa do risco para a saúde humana de um terreno com solos contaminados em meio urbano: Avaliação da exposição para uso como espaços verdes. Dissertação Mestrado FCT-UNL.
- Silva, G. A. V. (2020). Utilização de Fluorescência de Raios-X (XRF) para a caracterização expedita de solos contaminados por metais pesados: Aplicação a obra de construção civil para a identificação em tempo real de resíduos perigosos. Dissertação Mestrado. Universidade de Lisboa, 95 p.
- U. S. Environmental Protection Agency. Method 6200 (2007). Field portable x-ray fluorescence spectrometry for the determination of elemental concentrations in soil and sediment. Revision 0. url: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/6200.pdf>
- XRF Analyzer - X-200, (2021) url: <https://www.sciaps.com/products/xrf/x-series>

compatíveis com os resultados laboratoriais, à exceção do arsénio e do crómio, tendo-se observado, para o crómio, concentrações cerca de duas vezes superiores às analisadas em laboratório. Relativamente ao arsénio, refere-se que os valores obtidos possam encontrar-se “mascarados” devido às elevadas concentrações de chumbo nas amostras. (Silva, 2020).

Conclusões

Não obstante as inúmeras vantagens de utilização do método de XRF para a avaliação expedita de locais contaminados, é necessário reconhecer as suas limitações, as quais podem ser intrínsecas do próprio aparelho (resolução, sensibilidade, calibração) e/ou estar associadas a fatores externos (preparação das amostras, interferências físicas das matrizes e/ou a interferência físico-química dos elementos presentes na amostra) (Pereira, 2022; U. S. Environmental Protection Agency, 2007). Relativamente aos resultados apresentados, conclui-se que, à exceção dos elementos arsénio e crómio, os valores obtidos para os restantes elementos (chumbo, cobre, níquel e zinco), são compatíveis com os resultados laboratoriais, apresentando o níquel, o zinco e o chumbo elevada correlação e com coeficiente de variação inferior a 6%. Dadas as limitações de análise de alguns aparelhos de XRF e a variabilidade observada nos resultados para os elementos arsénio e crómio, sugere-se que, em estudos na área geoambiental onde se preconize a ocorrência destes elementos, as limitações acima referidas sejam sempre objeto de avaliação numa fase preliminar do projeto, incluindo a validação dos resultados em laboratório certificado.

First evidence of Cadomian felsic magmatism in the Évora-Aracena Domain, Ossa-Morena Zone, SW Iberian Massif

Primeira evidência de magmatismo félsico Cadomiano no Domínio Évora-Aracena, Zona de Ossa-Morena, SW do Maciço Ibérico

P. Cachapuz (1), M. Chichorro (2), T. Bento dos Santos (1, 3), D.R. Carvalho (3, 4), M. Benoit (5), E. Dantas (6) and A.R. Solá (4)

- (1) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, pedrofilipecachapuz@hotmail.com
 (2) FCT-UNL - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
 (3) DG-FCUL – Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa
 (4) LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia
 (5) GET – Géosciences Environnement Toulouse, OMP – Observatoire Midi Pyrénées, Université Paul Sabatier
 (6) LEGGA - Laboratório de Geocronologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília (UnB), Brasil

Sumário: Dados geoquímicos obtidos em meta-riólitos da região de Viana do Alentejo incluídos na formação Xistos de Moura permitem diferenciar 3 grupos distintos: Grupo I – rico em HREE com assinatura orogénica; Grupo II – também enriquecido em HREE, mas apresentando natureza anorogénica; e Grupo III - anorogénico, mais enriquecido em REE que os anteriores. Tais informações, quando combinadas com dados geocronológicos U-Pb, obtidos em amostras dos grupos I e III, permitem afirmar que estes riólitos resultaram de um magmatismo contínuo entre a Orogenia Cadomiana e o evento rift-to-drift do Câmbrico.

Palavras-chave: Zona de Ossa-Morena, Gondwana, geocronologia, geoquímica, rifting

Key words: Ossa-Morena Zone, Gondwana, geochronology, geochemistry, rifting

Ossa-Morena Zone (OMZ) has unique features in the Iberian Massif with the presence of a Neoproterozoic basement formed during the Cadomian Orogeny, overlapped by Palaeozoic units. Along the S boundary of OMZ, the Évora-Aracena Metamorphic Belt (EAMB) is composed of high grade metamorphic terrains. Presence of felsic volcanic rocks in the Viana do Alentejo region of the EAMB was first described by Carvalhosa (1972), who placed such rocks in the Viana do Alentejo gneiss unit and the Xistos de Moura formation (Fig. 1). This study focus on the latter, with whole-rock/isotopic geochemical data being obtained in 6 samples from 4 different areas (PMT-1 and PMT-2 – Oriola Sector; PMT-3 and PMT-5 – S. Bartolomeu Sector; PMT-12B – Viana Dam Sector; PMT-17 – Portel Sector), 2 of which were also the subject of LA-ICP-MS U-Pb dating (PMT-2 and PMT-17).

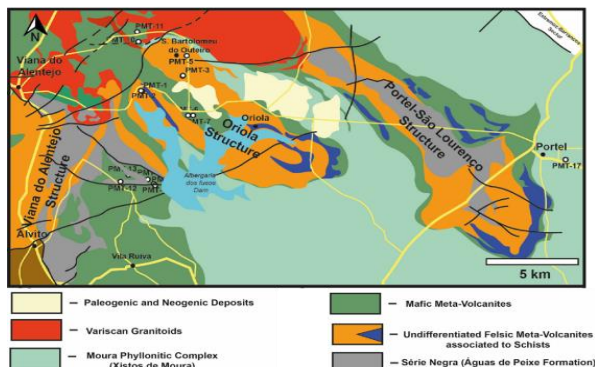


Fig. 2 - Location of the studied Viana do Alentejo meta-rhyolites.

Three groups of rhyolites were defined: a) Group I – Meta-acid rocks from Oriola sector; b) Group II - Meta-acid rocks from S. Bartolomeu and Viana Dam sectors; and c) Group III - Meta-acid rocks from Portel sector (Cachapuz, 2021). Group I rhyolites are enriched in HREE (HREEt = 9.15-9.35 ppm), present ϵNd_{320} values between -10.1 and -11.8 and T_{DM} ages = 1.8-2.0 Ga, while also displaying an orogenic signature. Group II felsic rocks are even more enriched in HREE (HREEt = 24.3-39.5 ppm), have higher ϵNd_{320} (-0.7 to +3.0) and younger T_{DM} ages (0.8-1.1 Ga) and show an anorogenic signature. As for Group III, the Portel rhyolite shows high contents of both LREE and HREE (REEt = 338 ppm), while also displaying an intraplate signature.

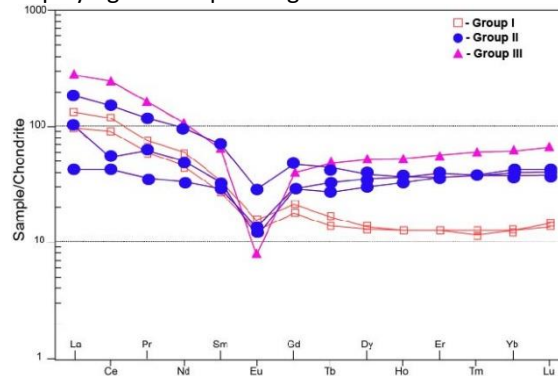


Fig. 2 - REE patterns for the Viana do Alentejo rhyolites.

Regarding U-Pb data, most zircons from **Portel's Rhyolite (PMT-17; Group III)** present rounded shapes

with few elongated prismatic zircons with bipyramidal terminations. 20 spots were analysed, 19 of which yielded concordant ages, with the latter ones displaying Th/U = 1.2 - 4.0. Most $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages are between 502-679 Ma. The youngest cluster provides a Concordia age of 504.16 ± 1.98 (n=3; MSWD=0.25; p=0.62), being interpreted as the crystallization age. Also relevant are clusters at 613 and 672 Ma. Some analyses yield Late Palaeozoic – Mesozoic ages (227-232 Ma), 1 spot yields a Mesoproterozoic age (1590 Ma), 2 Paleoproterozoic ages (1908 and 1974 Ma) and 1 Archean age (2733 Ma).

As for **Oriola's Rhyolite (PMT-2; Group I)**, zircons are frequently elongated with bipyramidal terminations. 50 spots were analysed, 41 of those presenting concordant ages. These have Th/U = 0.5 - 4.3, being the youngest $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages between 500 and 713 Ma, the majority of which concentrate in 3 big groups with weighted mean average ages of 596, 619 and 639 Ma. Older $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ages are mainly Paleoproterozoic (1809-2199 Ma), with 2 analysis yielding an Archean age (2657 and 2854 Ma). Ages below 550 Ma are dispersed and interpreted as Pb loss, implying that the following cluster that provides a Concordia age of 595.40 ± 1.38 (n=5; MSWD=0.32; p=0.57) is interpreted as the crystallization age (Fig. 3).

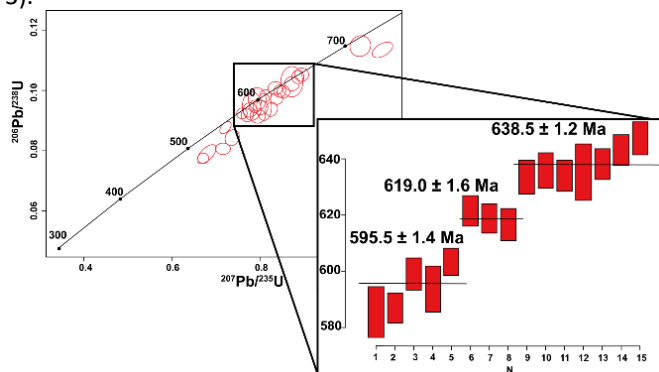


Fig. 3 - Wetherill concordia diagram showing U-Pb ages between 300 and 700 Ma from PMT-2 rhyolite.

References

- Carvalho, A.B. (1972). Estudo Geológico-Petrográfico Da Região de Viana Do Alentejo-Alvito. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, 18, 7–56.
- Cachapuz, P. (2021). Constrangimentos petrológicos e geocronológicos no magmatismo da região de Viana do Alentejo: contributo para a compreensão da evolução geodinâmica da Zona de Ossa-Morena. Tese de Mestrado não publicada, Universidade de Lisboa, 71.
- Chichorro, M., Solá, A.R., Bento dos Santos, T., Amaral, J.L., Crispim, L. (2022). Cadomian/Pan-African consolidation of the Iberian Massif assessed by its detrital and inherited zircon populations: is the ~610Ma age peak a persistent Cadomian magmatic inheritance or the key to unravel its Pan-African basement? *Geologica Acta*, 20.15, 1-29.
- Sánchez-García, T., Bellido, F., Pereira, M.F., Chichorro, M., Quesada, C., Pin, C., Silva, J.B. (2010). Rift-Related Volcanism Predating the Birth of the Rheic Ocean (Ossa-Morena Zone, SW Iberia). *Gondwana Research*, 17, 2–3, 392–407.

Geodynamic Interpretation

Group I and II rhyolites present very similar geochemical characteristics to early-rift felsic volcanic rocks studied by Sánchez-García et al. (2010) in the Bodonal-Cala Volcano-sedimentary Complex and Calera and Barreiros massifs. However, the geochronological data obtained in sample PMT-2 seems to indicate an Ediacaran crystallization age (~595 Ma). Such Cadomian felsic age is a novelty in the EAMB. We also interpret the relative proximity of zircons between 640 and 500 Ma (Fig. 3) as the result of several magmatic pulses in succession, during the Cadomian and the Cambrian rifting sequence, hence the quasi-concordant ~500 Ma cluster of the younger zircons. In this last pulse, the melting temperature is likely very low, leading to the absence of new zircon, but providing Pb loss to already crystallized rocks. Although no U-Pb data was obtained for S. Bartolomeu and/or Viana-Dam rhyolites, their anorogenic signature and higher ϵNd_{320} suggest that they were formed during the Cambrian magmatism (“early rift event”) in continuous magmatic pulses between the Cadomian Orogeny and the Cambrian rift-to-drift events. As for the Portel Group III rhyolite (PMT-17), this sample denotes an even greater mantle influence, showing geochemical similarities with main rift felsic volcanic rocks (Sánchez-García et al., 2010). Such geodynamic context appears to be confirmed by the U-Pb with a 504 Ma as its crystallization age. As for the ages of the other clusters (613 and 672 Ma), these are likely inherited and related to the Pan-African basement (Chichorro et al., 2022). As a final note, intrusion of these volcanic rocks within the Xistos de Moura Formation points to a minimum Cambrian (Wuliuan/Drumian transition) age for this unit.

Stream sediments geochemistry in the Valongo anticline, northern Portugal: arsenic as a proxy to outline new exploration targets

Geoquímica de sedimentos de corrente no anticlinal de Valongo, norte de Portugal: arsénio como proxy para delinear novos alvos de exploração

P. Carvalho (1), T. Albuquerque (2,3), L. Chambel (4), M. Silva (5) and F. Rocha (1)

(1) GeoBioTec- GeoBioSciences, GeoTechnologies and GeoEngineering, Department of Geosciences, University of Aveiro, Aveiro, Portugal, paulacscarvalho@ua.pt

(2) Instituto Politécnico de Castelo Branco|CERNAS, Av. Pedro Álvares Cabral, nº 12, 6000-084 Castelo Branco, Portugal

(3) ICT| Universidade de Évora, Largo dos Colegiais 2, 7000 Évora, Portugal.

(4) Sínese – Consultoria Ld.^a

(5) Universidade de Coimbra, CITEUC-Centro de Investigação da Terra e do Espaço - Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal

Resumo: O anticlinal de Valongo é conhecido pela ocorrência de vários depósitos minerais de Sb-Au e As-Au, muitos deles explorados desde os tempos romanos. Os depósitos de Sb-Au e As-Au ocorrem nos filões de quartzo com estrutura brechóide com direção predominante NE-SW, NNW-SSE, e ENE-WSW cortando formações do Câmbrico ao Carbónico. Uma campanha de 801 sedimentos de corrente foi obtida nesta área. A krigagem factorial foi aplicada como um método de interpolação, usando o arsénio (As) como proxy para delinear novos alvos de exploração. Os resultados permitem a identificação de alinhamentos NW-SE e NE-SW, como preferenciais para teores elevados de As. Estudos futuros irão usar informação estrutural e a distribuição das antigas escombrelas para obter uma maior precisão nas áreas para prospeção mineira.

Palavras-chave: Exploração, sedimentos de corrente, fundo geoquímico, depósitos de Au, arsénio.

Keywords: exploration, stream sediments, background, Au deposits, arsenic.

Introduction

The Valongo anticline is known for the occurrence of many mineral deposits, with a predominance of Sb-Au deposits, some exploited since Roman times, but especially in the late 19th century.

The definition of advanced-stage exploration targets has long resorted to the spatial patterns of trace elements (or indicator minerals) in stream sediments. It is key that the data analysis approach distinguishes between patterns related to local (delimited) sources, diffuse (background) sources or random distribution. This study aims 1) to identify and model the geochemical anomalies of arsenic; 2) to recognize possible spatial anisotropies and high significance As clusters in the Valongo anticline; 3) to discriminate the natural and anthropogenic sources.

Geology

Located 18 km from Oporto, the Valongo anticline includes Cambrian to Carboniferous formations. It is asymmetric and trends NW-SE, with a synclinal to the west. Cambrian phyllites with metagreywackes are overlapped, in angular unconformity, by Tremadocian-Floian metaconglomerates quartzites and graphitic phyllites. This sequence is followed by the Dapingian-Darriwilian black shales, and by

Hirnantian quartzites with metagraywacke intercalations (Medeiros et al., 1980). Silurian black shales and quartzites occur in both anticline flanks. Devonian is represented by clay shales, thin sandstone beds and quartzites, while Carboniferous by a sedimentary breccia, black clay shales with coal intercalations (Medeiros et al., 1980). Variscan granites surround the anticline. Sb-Au and As-Au deposits occur in brecciated quartz veins, with predominant NE-SW, N-S, NNW-SSE and ENE-WSW directions (Couto, 1993; Neiva et al., 2008), cutting Cambrian to Carboniferous formations. These deposits formed through the circulation of metamorphic fluids derived from the host metasediments. Variscan folding and thrusting generated shear zones with an anomalous crustal heat flow giving rise to hydrothermal activity (Couto, 1993; Neiva et al., 2008). The structural control is clear and the deposits have been associated with shear areas active since the Variscan D1 phase (Pereira et al., 1993).

Methodology

801 stream sediment samples were collected by the Baixo-Douro (EDM-ECD-BRGM) consortium (Viallefond, 1990) with a density of 4 samples/km².

Samples were sieved at 125 μm , digested by fusion with sodium peroxide and analyzed by ICP-AES, with an accuracy of 5-10%. The detection limit for As is 5 ppm. The BRGM laboratory (France) carried out the chemical analyses. Factorial kriging (FK) was applied as the interpolation method (Journel & Huijbregts, 1978) to define distribution patterns and identify spatial anisotropies. The selection of As is due to its presence in the mineral paragenesis of Sb-Au and As-Au deposits, as well as for being an element that replaces Sb in stibnite. Stibnite usually contains As (up to 1.39 wt.% As) in the Borralhal deposit, while in arsenopyrite Sb replaces As (Couto, 1993; Neiva et al., 2008).

Results and discussion

The results confirmed the method's efficiency in identifying the NW-SE and NE-SW directions as

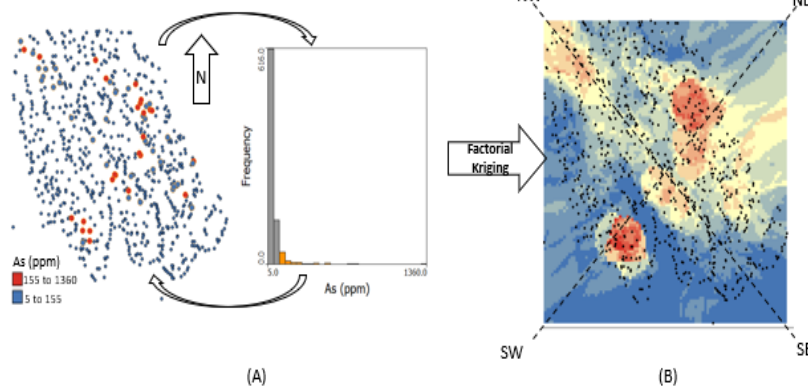


Fig. 1. a) Spatial distribution of As contents and As histogram; b) As spatial distribution (through FK) and probable spatial alignments.

preferential for the high As content (Fig. 1). Future work will explore the potential of other elements present in the mineral paragenesis as indicators of undiscovered mineral deposits. Other trace elements, such as Cu, Zn, Co, Pb, and Cd will be used to confirm and validate the identified As anomalies. Additional information, such as structural features and mine tailings dumps distribution will be analyzed to delineate exploration targets.

Conclusions

Factorial kriging proved to be effective in the definition of preferential As alignments. These high As zones match the area of known gold deposits and predict the most potential target zones for exploration. Closely related to the mineral paragenesis of Sb-Au and As-Au deposits, arsenic is a good proxy to predict potential mineralized zones.

Acknowledgements: This work was supported by GeoBioTec (UIDB/04035/2020) Research Centre, funded by FEDER through the Operational Program Competitiveness Factors COMPETE and by National funds through FCT. We are grateful to Laboratório Nacional de Energia e Geologia for providing the data on stream sediment.

References

- Couto, H. (1993). As mineralizações de Sb-Au da região Dúrico-Beirã. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 607.
- Journel, A.G. & Huijbregts, C.J. (1978). Mining Geostatistics. Academic Press, London (UK). 600 pp.
- Medeiros, A.C., Pereira, E. & Moreira, A. (1980). Carta Geológica de Portugal. Notícia explicativa da folha 9-D. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Neiva, A. M. R, Andráš, P. & Ramos, J. M. F. (2008). Antimony quartz and antimony-gold quartz veins from northern Portugal. *Ore Geology Reviews*, 34, 533-546.
- Pereira, E., Ribeiro, A. & Meireles, C. (1993). Cisalhamentos hercínicos e controlado das mineralizações de Sn-W, Au e U da Zona Centro-Ibérica. *Cua. Lab. Xeol. Laxe* 18, 89-119 pp..
- Viallefond, L. (1990). Interpretation des resultats de la prospection geochimique tactique de la zone de Tapada-Baixo Douro (Portugal). Bureau de recherches geologiques et minieres. Orleans.

U-Pb detrital zircon ages during tectonic inversion: provenance analysis of siliciclastic sequences of the Ossa-Morena Zone

Idades U-Pb de zircão detrítico durante a inversão tectónica: análise de proveniências de sequências siliciclásticas da Zona de Ossa-Morena

M. Chichorro (1), T. Bento dos Santos (2, 3), R. Solá (4), C. Lopes (5) and P. Cachapuz (2)

- (1) GeoBioTec, Departamento de Ciências da Terra, FCT-NOVA, Portugal, ma.chichorro@fct.unl.pt
 (2) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal
 (3) DG-FCUL – Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal
 (4) LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia
 (5) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Univ. do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal.

Sumário: *Análise de proveniência de sucessões detríticas da Zona de Ossa-Morena é reinterpretada a fim de demarcar os estádios de inversão tectónica do Ciclo Varisco. Zircões detríticos de unidades de Rift do Câmbrico médio-superior (Fm de Ossa, Fm de Fatuquedo) mostram não ter existido variações significativas das áreas fonte quando comparadas com os sedimentos ediacarianos, que refletem erosão/reciclagem da crosta Pan-Africana e do Arco Cadomiano, espelhando a herança típica do Norte do Gondwana. O padrão da Fm da Colorada grava o início da subducção, pois mostra que o soco da ZOM já está em inversão, embora ainda com exumação limitada dos depocentros em Rift do Câmbrico. Por sua vez, as curvas da Fm de Terena já são consistentes com exumação ativa e erosão/reciclagem sub-aérea das sequências vulcano-sedimentares sin-Rift, refletindo as primeiras fases colisionais variscas.*

Palavras-chave: Zircão, Análise de proveniências, Fm Ossa - Fatuquedo, Fm Colorada, Fm Terena

Key words: Zircon, Sedimentary provenance, Ossa-Fatuquedo Fm, Colorada Fm, Terena Fm.

The inversion stage of a sedimentary basin is marked by the time where the sedimentary infill is exposed at surface, which is triggered by changing from an extensional to a compressive stage. Regarding the Variscan convergence in the Iberian Massif, it is crucial to know the timing of the transition from the Drift stage to the stage of convergence-subduction in each peri-Gondwanan/Laurussian terrane. We believe that the tectonic inversion is imprinted in the probabilistic data of the detrital zircon ages placed in lithostratigraphic units of Ossa-Morena Zone (OMZ). Therefore, provenance analysis of several mid-upper Cambrian to Lower Devonian siliciclastic successions of the OMZ (after Pereira et al., 2014) are presented and reinterpreted.

Geological context of the analysed samples

Ossa/Fatuquedo Fms.: Both sandstone units are mid-upper Cambrian equivalents, characterizing the last stages of the rift stage. Overlying these units is a passive-margin succession formed by distal shales and sandstones of the **Colorada Fm.** (Upper Ordovician-Lower Silurian). Silurian is represented by pelagic, euxinic sequences (graphite shales, cherts and ampelites), whereas Lower Devonian **Terena Fm.** is composed of a flysch succession, representing the oldest synorogenic deposits in the Iberian Massif and

marking the initial continental collisional stage (Borrego et al., 2006).

U-Pb Detrital Zircon age Patterns

Ossa Fm.: The probability density plots (PDP) show a striking similarity to the Ediacaran sediments of Série Negra suggesting that Rift-to-Drift sedimentation was marked by slight variations in source-areas from the exhumation and denudation of crustal blocks with similar zircon-forming events typical of North Gondwana. The youngest detrital zircon found is Ediacaran (551 Ma). A strong input of Pan-African ages (670-653 Ma) is a major feature, but Cadomian ages (~570 Ma) are also present. Rift-related ages are absent. Erosion and recycling of Paleoproterozoic rocks (2.1-1.8 Ga), typical of NW-Gondwana margin, are present in the PDP curves. Mesoproterozoic ages are almost absent and Tonian ages are subsidiary; **Fatuquedo Fm.:** Just one zircon (ca. 529 Ma) defines the Maximum Deposition Age (MDA), which means that the subaerial erosion of Rift-related rocks continued very limited. The scarcity or absence of Cambrian ages in Fatuquedo and Ossa Fms. suggest that the coeval magmatism was essentially submarine or related to intrusive complexes. The same Pan-African Stage II zircons founded in Ossa Fm are present in Fatuquedo. As in the Ossa Fm., there are also Paleoproterozoic ages (2.2-1.7 Ga) and rare

Archean, Mesoproterozoic and Tonian ages; **Colorada Fm.:** the youngest detrital zircons in these quartzites are Cambrian (532 and 501 Ma). The most significant age peaks are Cryogenian (666 and 615 Ma) Pan-African Stage II ages. Ediacaran Cadomian ages (~550 Ma) are also present, but the most significant feature is the abundance of 971-889 Ma Tonian ages. This is a distinctive feature when compared to the Ediacaran Série Negra succession and the Cambrian formations; **Terena Fm.:** The MDA of these greywackes is 479.5 ± 8.4 Ma (Lower Ordovician; $n=3$; $MSWD=0.35$; $p=0.71$). This suggests that no igneous rocks younger than 482 Ma were emplaced in SW OMZ, which is consistent with the literature. The most significant detrital zircon ages are Lower Cambrian (509-521 Ma) which is the age interval of the Cambrian rift-related magmatism in SW OMZ. Cambrian ages are even more abundant than Pan-African/Cadomian ages, whose maximum peak is ~610 Ma, the most representative Pan-African age in Iberia (Chichorro et al., 2022).

Conclusions

U-Pb dating of detrital zircons from the Rift stage Cambrian siliciclastic rocks (Fatuquedo Fm. and Ossa Fm.) show that there were no significant variations in the source-areas when compared with the Ediacaran sediments under the influence of the Pan-African crust denudation and active Cadomian arc erosion, maintaining the features of the Paleoproterozoic zircon-forming events typical of North Gondwana. The irrelevance of Stenian-Tonian detrital zircon ages is interpreted by us, admitting an closed-system behaviour induced by the mega-cordillera of the Trans-Sahara Belt which acted as a barrier for the large distance transport sediments. Colorada Fm. PDP exposes four main evidence: i) erosion/recycling of older crust (Neoproterozoic), as well as the maintenance of the recycling of Eburnean crust; ii) sudden opening

of the system to Stenian-Tonian ages (mainly Tonian); iii) maintenance of the recycling Pan-African crust, including the ca 615 Ma signal; iv) erosion of Cadomian arc magmatic rocks (ca. 551 Ma). This suggests that the basement of OMZ is already in an inversion stage, but yet with very limited denudation of the Cambrian Rift-related sequences. On the other hand the remarkable and sudden influence of Tonian zircons is the expression of the opening of the system to exotic and very distal provenances. As it was advocated to Stenian-Tonian detrital zircon in N-CIZ Floian quartzites (Chichorro et al., 2022), the passive margin sedimentation in OMZ is also under influence of long-distance transport mechanism suggesting that, at that time, the Trans-Saharan Belt had already become a vast peneplain with a large drainage system. We propose that the Pan-African-Cadomian crust in up-lift/exhumation and the Trans-Sahara Belt barrier in active peneplanation is the tectonic effect of the contractional deformation in the transition Ordovician-Silurian (ca. 444 Ma) related with the beginning of the intraoceanic subduction. The abrupt influx of Rift-related Cambrian zircons in the Terena Fm. greywackes PDP is consistent with active exhumation and sub-aerial erosion and reworking of the syn-rift crust. The sources for the clastic sediments are essentially proximal, consisting in the well-dated lower/middle Cambrian Rift-to-Drift volcano-sedimentary sequences. The ~610 Ma age peak, the most persistent detrital inherited age in the Iberian Massif emphasizes the Pan-African basement as an effective and proximal source. Terena sediments, thus reflect continental response to active collision after Rheic Ocean consumption and the first stages of continental collision. During the Lower Devonian Period the Trans-Sahara Belt seems to be again in up-lift as a response to active collision and therefore acting once again as a continental barrier.

Acknowledgments: This work is a contribution to GONDWANA Project (PTDC/CTE-GIX/110426/2009).

References

- Borrego, J., Araújo, A., Fonseca, P. & Ribeiro, M. A. (2006). Estudos de Proveniência em litologias detríticas do Sinclinal de Terena (ZOM): tectónica e evolução geodinâmica do Silúrico basal ao Devónico inferior. Atas VII Congresso Nacional de Geologia, Estremoz, 53-56.
- Chichorro, M., Solá, A.R., Bento dos Santos, T.M., Lains Amaral, J. & Crispim, L. (2022). Cadomian/Pan-African consolidation of the Iberian Massif assessed by its detrital and inherited zircon populations: is the ~610Ma age peak a persistent Cadomian magmatic inheritance or the key to unravel its Pan-African basement? *Geologica Acta*, 20.15, 1-29.
- Pereira, M. F., Chichorro, M., Lopes, C., Solá, A. R., Silva, J. B., Hofmann, M. & Linnemann, U. (2014). Provenance analysis of Lower Paleozoic siliciclastic rocks of SW Iberia (Ossa-Morena Zone): distal shelf deposition in the North Gondwana passive margin. In: R. Rocha, J. Pais, S. Finney, J.C. Kullberg (eds.). *First International Congress on Stratigraphy at the cutting edge of Stratigraphy*. Springer Geology, XXVII, ISBN 978-3-319-04363-0. pp 747-751.

Dados geoquímicos e isotópicos Sr-Nd do complexo anatético da Faixa-Metamórfica Porto-Viseu: inferências petrológicas

Geochemical and Sr-Nd isotopic data of the anatectic complex of the Porto-Viseu Metamorphic Belt: petrological inferences

B. Cotrim (1), T. Bento dos Santos (1,2), M. Azevedo (3) e D. Carvalho (1)

(1) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal, bifonseca@fc.ul.pt

(2) DG-FCUL – Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal

(3) GeoBioTec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Portugal

Summary: The Porto-Viseu Metamorphic Belt is one of the several anatectic complexes of the Central Iberian Zone. It is composed of staurolite-bearing schists, metatexites, diatexites and anatectic granites. Regarding geochemical data, these lithologies are quite similar, displaying REE patterns with $(La/Sm)_N = 1.98 - 4.43$, although a closer affinity can be seen between staurolite-bearing schists and metatexites, and between diatexites and anatectic granites. Every lithology is related to a magmatic arc setting, although this signature is probably derived from their most likely protolith, the Douro-Beiras Supergroup. Sr-Nd isotopes also support this claim. Regarding anatectic processes, metatexites were formed by vapour-present muscovite melting, whereas diatexites by vapour-absent muscovite melting.

Key words: Central Iberian Zone, anatectic complex, Variscan orogeny, geochemistry

Palavras-chave: Zona Centro-Ibérica, complexo anatético, Orogenia Varisca, geoquímica

Introdução

Os complexos anatéticos da Zona Centro-Ibérica têm sido alvo de vários estudos recentes (e.g.: Ferreira et al., 2020; Bento dos Santos et al., 2021). No entanto, à Faixa Metamórfica Porto-Viseu (FMPV), situada no sector NW da Zona Centro-Ibérica (ZCI; Valle Aguado et al., 2017; Bento dos Santos et al., 2021) e estruturada como um antiforma orientado NW-SE delimitado a NE e SW por duas zonas de cisalhamento, tem faltado dados geoquímicos para melhor compreender a sua génese e relação entre os litótipos que a compõe. Este trabalho visa suprir essa lacuna de conhecimento com recurso a dados geoquímicos elementares e isotópicos Rb-Sr e Sm-Nd.

Estrutura, Metamorfismo e Geoquímica

A FMPV é um complexo anatético caracterizado por metamorfismo barroviano, composto essencialmente por micaxistos com estaurolite e sillimanite, migmatitos (metatexitos e diatexitos), assim como granitos anatéticos sin-D₃, estando inseridos no encaixante metassedimentar do Supergrupo Douro-Beiras (SGDB; e.g. Valle Aguado et al., 2017; Bento dos Santos et al., 2021). As litologias da FMPV dividem-se claramente nos diagramas de Harker em: Grupo 1 – diatexitos e granito anatético; Grupo 2: metatexitos e micaxistos com estaurolite. Todas as amostras são peraluminosas (ASI>1), tendo o Grupo 1 composições de granitos, enquanto o Grupo 2

apresenta composições de sedimentos semelhantes a pelitos e grauvaques. Nos padrões de REE as amostras apresentam padrões descendentes que variam desde (Fig. 1): a) micaxistos com estaurolite: $(La/Sm)_N = 3.21 - 3.51$ e $(Gd/Yb)_N = 1.53 - 1.79$; b) metatexitos: $(La/Sm)_N = 3.39 - 4.89$ e $(Gd/Yb)_N = 2.38 - 4.89$; c) diatexitos: $(La/Sm)_N = 1.98 - 4.43$ e $(Gd/Yb)_N = 0.96 - 1.79$; e d) granito anatético: $(La/Sm)_N = 2.33$ e $(Gd/Yb)_N = 1.58$. As anomalias de Eu são pouco pronunciadas ($Eu/Eu^* = 0.52 - 0.73$).

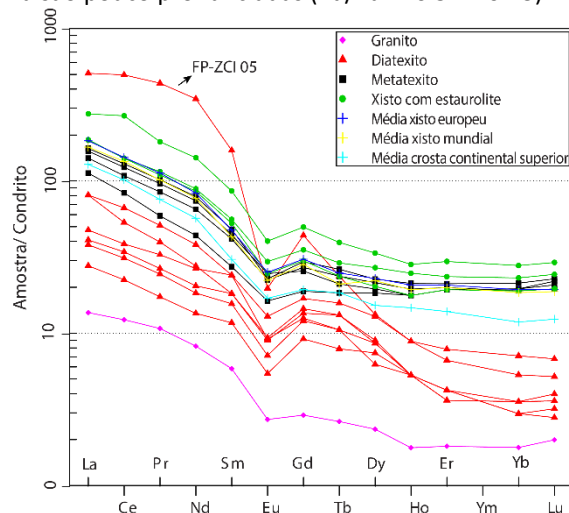


Fig. 1. Padrão de REE normalizado ao condrito. São também apresentados valores de referência para pelitos.

No entanto, um diatexito apresenta o padrão de REE distinto, com um maior enriquecimento em LREE e HREE e uma maior anomalia negativa de Eu ($\Sigma LREE =$

680.76 ppm; $(La/Lu)_N = 79.37$, $(La/Sm)_N = 3.21$, $(Gd/Yb)_N = 4.57$; $Eu/Eu^* = 0.24$). Todas as amostras apresentam valores negativos de ϵNd_{320} (-3.0 a -8.8), típicos da crosta, e valores de $^{87}Sr/^{86}Sr_{320} = 0.708 - 0.766$. O campo dos diatexitos sobrepõem-se às outras litologias, apresentando os valores menos negativos de ϵNd_{320} (-3.0 a -8.2), enquanto os metatexitos apresentam os valores mais negativos (-8.8 a -5.2), os micaxistos com estaurólite variam entre -7.6 e -5.2 e o granito -8.2. A elevada dispersão no Sr dever-se-á ao metamorfismo de alto grau que originou todas estas rochas (Fig. 2).

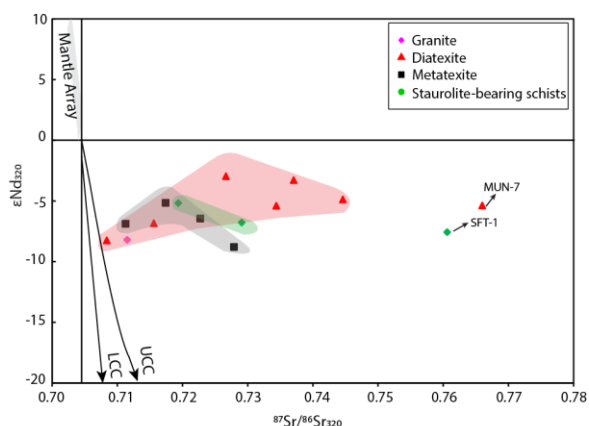


Fig. 2. Diagrama $^{87}Sr/^{86}Sr$ vs ϵNd para 320 Ma. LCC – Crosta Continental Inferior; UCC – Crosta Continental Superior.

Discussão e Conclusões

Ambos os grupos apresentam afinidade com ambientes de arco magmático, embora o Grupo 1 também seja transicional para ambientes sin-colisionais. O SGDB, apontado como sendo o mais provável protólito destas rochas, foi formado em

ambiente de arco magmático, tal como obtido para estas amostras (Fuenlabrada et al., 2016; Ferreira et al., 2020). No entanto, o metamorfismo varisco terá modificado a assinatura dos diatexitos para sin-colisional nos diagramas que usam elementos mais móveis. Os REE são pouco variáveis, reflectindo a fonte destas rochas. Este padrão é também muito semelhante aos REE da média dos xistos mundiais e europeus. O diatexito enriquecido em LREE tem também acoplado forte enriquecimento em Th o que sugere acumulação de líquidos derivados da fusão de monazite. Em relação à formação dos migmatitos, os diagramas Ba vs Rb/Sr e Sr vs Rb/Sr mostram que os metatexitos foram formados por fusão hidratada de moscovite, enquanto os diatexitos foram gerados por fusão de moscovite na ausência de água. Os resultados dos metatexitos são consistentes com os resultados de Bento dos Santos et al. (2021). No entanto, o mesmo não acontece com os diatexitos, que costumam ser formados por fusão incongruente da biotite. No entanto, de acordo com as experiências de Patiño Douce & Harris (1998), a granada é um indicador do início da fusão de biotite. Uma vez que apenas um dos diatexitos analisados apresenta granada, podemos inferir que o processo gerador dos diatexitos foi essencialmente a fusão de moscovite na ausência de água. É, no entanto, ainda enigmático como é que a fusão incongruente de moscovite pode gerar as quantidades de líquido magmático que se observa na Zona Centro-Ibérica e, em concreto nos diatexitos e granitos anatócticos da FMPV (Pereira et al., in press).

Agradecimentos: Financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) – 2020.04436.BD. Os autores agradecem a Sara Ribeiro da Universidade de Aveiro a ajuda na obtenção dos dados de Rb-Sr e Sm-Nd.

Referências

- Bento dos Santos, T., Rodrigues, J., Castro, P., Cotrim, B., Pereira, I., Ferreira, J., Meireles, C., Ferreira, N., Ferreira, P., Ribeiro, A., Guimarães, F. (2021). Exhumation of an anatectic complex by channel flow and extrusion tectonics: structural and metamorphic evidence from the Porto-Viseu Metamorphic Belt, Central-Iberian Zone. *International Journal of Earth Sciences*, 110, 2179-2201.
- Ferreira, J., Mata, J., Bento dos Santos, T., Pereira, I. (2020). The role of melting on the geochemical evolution and isotopic variability of an anatectic complex in the Iberian Variscides, *Lithos*, 378-379, 105769.
- Fuenlabrada, J.M. et al. (2016). Geochemistry of the Ediacaran-Early Cambrian transition in Central Iberia: Tectonic setting and isotopic sources, *Tectonophysics*, 681, 15-30.
- Patiño Douce, A., Harris, N. (1998). Experimental Constraints on Himalayan Anatexis, *Journal of Petrology*, 39 (4), 689-710.
- Pereira, I., Bento dos Santos, T., Soares, V., Cotrim, B., Castro, P. (2023). Anatectic granite profusion in the Central Iberian Zone at low metamorphic peak conditions? *XI Congresso Nacional de Geologia*, Coimbra (este volume).
- Valle Aguado, B., Azevedo, M.R., Nolan, J., Medina, J., Costa, M.M., Corfu, F. & Martínez Catalán, J.R. (2017). Granite emplacement at the termination of a major Variscan transcurrent shear zone: The late collisional Viseu batholith, *Journal of Structural Geology*, 98, 15-37.

Datação LA-ICP-MS de U-Pb em zircão do Granodiorito de Arouca: problemáticas e implicações geodinâmicas

LA-ICP-MS dating of U-Pb in zircon of the Arouca Granodiorite: problems and geodynamic implications

B. Cotrim (1), T. Bento dos Santos (1,2), M. Azevedo (3) e J. M. Lafon (4)

(1) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal, bifonseca@fc.ul.pt

(2) DG-FCUL – Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal

(3) GeoBioTec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Portugal

(4) Laboratório de Geologia Isotópica-Pará-Iso, IG-UFGA, 66075-110, Belém, Pará, Brasil

Summary: The Arouca Granodiorite is considered to have an age at 310-290 Ma, corresponding to the Variscan Orogeny tardi- to post- D_3 deformation phase. However, reliable geochronological data has been absent. New LA-ICP-MS U-Pb isotopic data on zircon cores provides an age of 492.3 ± 8.8 Ma, which is consistent to other ages from granitoids and the Ollo de Sapo volcanic sequences formed during the late-rift event that affected the Central Iberian Zone. However, this age cannot be the age of magmatic crystallization of the granodiorite, so we interpret it as an inherited age from its protolith, implying that abundant Cambrian-Ordovician cryptic magmatism is present in the Central Iberian infrastructure.

Key words: U-Pb Geochronology, Central Iberian Zone, late-rifting event, inherited zircon, PVMB

Palavras-chave: Geocronologia U-Pb, Zona Centro-Ibérica, evento tardio de rift, zircão herdado, FMPV

O Granodiorito de Arouca (Fig. 1) é um granitoide biotítico com plagioclase com composição variável desde granodiorito a quartzo-diorito, apresentando uma forma elipsoide cujo eixo maior se dispõe na direção WNW-ESE (Pereira et al., 2007). É considerado um granito tardi- a pós- D_3 , o que corresponderá para os granitoides da Zona Centro-Ibérica (ZCI) a uma idade entre 321-290 Ma (Ribeiro et al., 2019). A intrusão deste granito é discordante com o encaixante e o limite NE da Faixa Metamórfica Porto-Viseu (FMPV; Fig. 1). Não apresenta deformação assinalável, existindo apenas evidências de cisalhamentos tardi- D_3 e fendas de tração onde ocorreu a instalação de diques (Pereira et al., 2007; Bento dos Santos et al., 2021; Fig. 1). Em termos petrográficos apresenta textura fanerítica média a grosseira e é composto por quartzo (30%) + plagioclase (20%) + feldspato potássico (10%) + biotite (35%) + moscovite (5%). Não existem muitos dados geocronológicos relativos ao Granodiorito de Arouca para além de Pinto (1985) onde a sua tentativa de o datar utilizando o método da isócrona para o sistema Rb-Sr produziu resultados com elevada dispersão, impedindo a obtenção de isócrona fidedigna. O único constrangimento geocronológico é a datação Rb-Sr por Ferreira et al. (1982) de um dolerito intrusivo neste granito que deu uma idade de 257 ± 6 Ma que pode ser usada como uma idade mínima para o Granodiorito de Arouca. Assim, o objetivo deste trabalho é a apresentação de dados

geocronológicos U-Pb (LA-ICP-MS) em zircão do Granodiorito de Arouca e a sua interpretação.

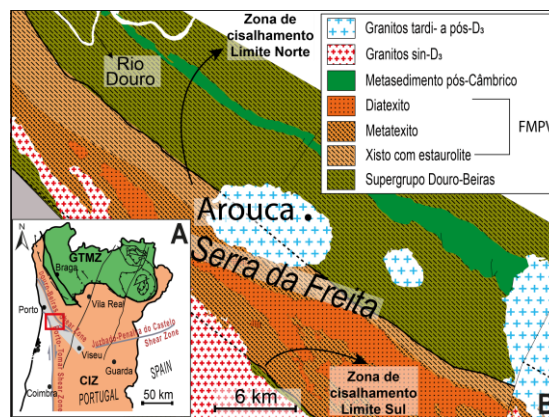


Fig. 1. Enquadramento geológico do granodiorito de Arouca (adaptado de Bento dos Santos et al., 2021).

Geocronologia U-Pb

Os zircões analisados têm morfologia alongada e prismática com largura entre 25 e 75 μm . A maioria apresenta zonamento oscilatório, mas existem alguns bordos de corrosão. Os bordos são em regra muito finos (<10 μm), o que não permitiu a sua análise com LA-ICP-MS, sendo analisados na sua maioria núcleos de zircão. Foram realizadas 30 análises em LA-ICP-MS (ICap-Q e Laser Cetac 213 nm na UFGA, Belém-Brasil), com um spot de 25 μm . A Concórdia foi obtida com o software Isoplot v. 4.1. Trinta spots foram analisados (9 apresentaram discordância <10% e $f_{206} < 0.01$) com 7 a definirem um cluster que permite

obter uma idade Concórdia de 492.3 ± 8.8 Ma (MSWD=0.066; $p=0.80$). Foram também obtidas 2 idades concordantes $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de 568.7 ± 9.8 Ma e 585.3 ± 10 Ma (Fig. 2). As análises apresentam $\text{Th}/\text{U} > 0.1$, típicas de zircões ígneos, o que é concordante com o zonamento oscilatório observado. Foi obtida uma análise $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de idade varisca (≈ 330 Ma) com Pb comum elevado ($\text{Th}/\text{U} = 0.07$), interpretada como rejuvenescimento metamórfico do protólito.

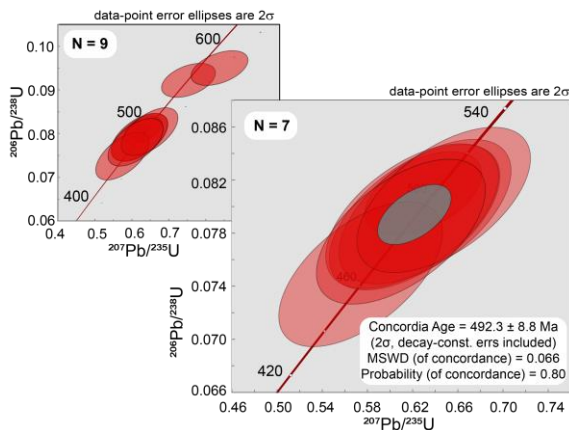


Fig. 2. Diagrama Concórdia para o Granodiorito de Arouca (grau de discordância < 10%; $f_{206} < 0.01$).

Discussão e Conclusões

A idade obtida de 492.3 Ma não é compatível com as idades consideradas para granitoides tardi- a pós-variscos nos quais o Granodiorito de Arouca se insere (310-290 Ma). Adicionalmente, a deformação neste granitoide é quase inexistente pelo que é improvável

cristalização do mesmo em período pré-varisco. Observa-se ainda que este granodiorito intersecta o limite NE da FMPV cuja instalação é síncrona com a formação do complexo anatético que o insere a 330-315 Ma (Bento dos Santos et al., 2021). Assim, a hipótese mais provável é que os núcleos de zircão são herdados do protólito que deu origem a este granitoide. A existência de bordos muito finos, por vezes inexistentes, poderá ser resultado do protólito ter fundido a temperaturas inferiores à temperatura de dissolução do zircão (a partir de 750 °C), o que explicaria a elevada preservação de núcleos de idade cambro-ordovícica e os bordos finos correspondentes às idades variscas. Foi obtida uma análise de idade varisca (≈ 330 Ma), que pode ser interpretada como idade metamórfica sobre o protólito desta rocha. Na ZCI, existem vários maciços granodioríticos com idades U-Pb semelhantes: Maciço de Oledo (479 - 480 Ma), Gouveia (482 Ma) e Zarza la Mayor (478 Ma), contemporâneas das idades do magmatismo da formação de Olo de Sapo (495-488 Ma; Ribeiro et al., 2019; e referências inclusas). Estas idades coincidem com o evento de rifting que ocorreu entre 530 e 470 Ma, iniciando-se na Zona de Ossa-Morena e que migrou para a ZCI (Cotrim et al., 2021). A existência destas idades sugere a existência de magmatismo críptico entre ou por debaixo das sequências expostas da ZCI, o que fornece pistas importantes para melhor compreender a natureza da infraestrutura geológica do Maciço Ibérico.

Agradecimentos: Financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) – 2020.04436.BD. Os autores agradecem a J.M.M. Neto e J.A.E. Pinto, aos técnicos Joelma, Bruno, Giselle e Ana Paula pelo apoio em todas as fases de preparação das amostras e obtenção de imagens e análises na UFPA.

Referências

- Bento dos Santos, T., Rodrigues, J., Castro, P., Cotrim, B., Pereira, I., Ferreira, J., Meireles, C., Ferreira, N., Ferreira, P., Ribeiro, A. & Guimarães, F. (2021). Exhumation of an anatectic complex by channel flow and extrusion tectonics: structural and metamorphic evidence from the Porto-Viseu Metamorphic Belt, Central-Iberian Zone. *International Journal of Earth Sciences*, 110, 2179-2201.
- Cotrim, B., Bento dos Santos, T., Mata, J., Benoit, M. & Jesus, A.P. (2021). Lower Paleozoic rifting event in Central Iberian Zone (central-north Portugal): Evidence from elemental and isotopic geochemistry of metabasic rocks. *Geochemistry*, 81, 3, 125768.
- Ferreira, M.P., Macedo, C.R. & Ferreira, J. (1982). Idade pérmica dos doleritos intensivos no plutonio de Arouca (Portugal central). *Memórias e Notícias*, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, 94, 21-30.
- Pereira, E. et al. (2007). *Notícia explicativa da Folha 13-D Oliveira de Azeméis, na escala 1:50.000*, LNEG.
- Pinto, M. S. (1985). Granitoides dos maciços de Arouca e Regoufe: dados geoquímicos e algumas implicações. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 71, 159-169.
- Ribeiro, M.L., Castro, A., Almeida, A., González Menéndez, L., Jesus, A., Lains, J.A., Lopes, J.C., Martins, H.C.B., Mata, J., Mateus, A., Moita, P., Neiva, A.M.R., Ribeiro, M.A., Santos, J.F. & Solá, A.R. (2019). Variscan Magmatism. In: Quesada, C., Oliveira, J. (eds) *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach*. Regional Geology Reviews. Springer, 497-526.

The role of Geochemistry in provenance studies – an example using modern personal adornment objects found in Angola

O papel da Geoquímica em estudos de proveniência – o exemplo usando objectos de adorno pessoal modernos encontrados em Angola

M. Costa (1) and J. Mirão (2)

(1) Laboratório HERCULES e IN2PAST, Universidade de Évora, Évora, Portugal; mcosta@uevora.pt.

(2) Laboratório HERCULES, IN2PAST e Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Évora, Portugal.

Resumo: A Geologia, e a Geoquímica em particular, são essenciais na realização de estudos de proveniência de matérias-primas e objectos produzidos pelo Homem. De facto, os recursos naturais têm um impacto crucial na história do Homem e na sua evolução tecnológica. Assim, a capacidade única da Geoquímica no estabelecimento de assinaturas digitais químicas características de diferentes matérias-primas e objectos produzidos pelo Homem pode ser explorada para determinar a proveniência destes materiais e tirar elações sobre as sociedades responsáveis pela sua manufactura e consumo. Aqui, a Geoquímica terá um papel preponderante na determinação da proveniência de uma colecção de contas de vidro europeias e de uma conta de talco encontradas na cidade de Mbanza Kongo (Angola).

Palavras-chave: Geoquímica, vidro, rocha, elementos-traço, abordagem multi-analítica

Key words: Geochemistry, glass, stone, trace elements, multi-analytical approach

Geochemistry has played a crucial role in the study of the history and evolution of mankind. Geology, and Geochemistry in particular, is essential for the comprehension of the selection and exploitation of raw materials over time, along with their manipulation and transformation processes. Geochemistry can, therefore, be used to establish the chemical fingerprint of raw materials and man-made objects, allowing them to be traced from their point of collection to their place of origin or source. Moreover, our dependency on natural resources for technological development, and the relationship between the commercialization of raw materials and the transfer of culture, ideas, concepts, and beliefs, makes Geochemistry and provenance studies vital for the understanding of the history of our species (Pollard 1999; Gilbert et al. 2017).

Here, we will present the results of the chemical and mineralogical characterization of modern personal adornment objects found in several archaeological contexts located in the city of Mbanza Kongo (Angola). The use of personal adornment objects is considered to be one of the hallmarks of modern humanity. These objects are generally symbolic items, used to convey an individual's beliefs, gender, personal preferences, affiliation or kinship, and social-economic status, and can be used in the reconstruction of individual, regional, and national cultural and social identity (White & Beaudry 2009).

In this case, a multi-analytical, minimally invasive methodology including handheld X-ray fluorescence (h-XRF), variable pressure scanning electron microscope coupled with energy dispersive X-ray spectrometry (VP-SEM-EDS), laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS), micro-Raman spectroscopy and micro-X-ray diffraction (μ -XRD), was used to study a collection of European glass beads and a stone bead found in different archaeological contexts in Mbanza Kongo (Costa et al. 2019; Costa et al. 2020; Costa et al. 2023).

By combining the methodological approach with the probable origin of European glass beads (assigned by visual comparison with historic sample cards, museum collections, and archeological specimens) it was possible to successfully identify the European production regions – Bavaria, Bohemia and Venice – of the beads found in Mbanza Kongo (Costa et al. 2019; Costa et al. 2020). In the future this procedure can also be used to determine the provenance of European trade beads found in other African or American contexts.

A single broken mustard-gold-colored bead was also found in Mbanza Kongo, along with European trade beads manufactured in Bohemia and Venice. Initially classified as a clay bead, analyses by μ -XRD and micro-Raman spectroscopy revealed it to be composed primarily of talc (Costa et al. 2023). Trace

element contents of this talcose bead indicate that it was manufactured within the Kongo kingdom using talc sources known by the local population, making it the first evidence of local production of personal adornment objects in the kingdom and one of the first examples of craft specialization for personal adornment purposes in central and southern Africa since pre-historic times (Costa et al. 2023).

To summarize, the multi-analytical approach employed, along with the determination of trace element content and the use of rare earth element patterns in particular, were essential to gain insights into the provenance of the personal adornment objects studied and to better comprehend the society of nowadays Angola during the 16th to 19th century A.D.

Acknowledgments: This work benefited from the financial support of Fundação para a Ciência e a Tecnologia through the strategic and programmatic projects of the R&D Unit HERCULES Laboratory (UID/Multi/04449/2019, UIDB/04449/2020 and UIDP/04449/2020), the Associate Laboratory IN2PAST project (LA/P/0132/2020) and the PhD scholarship (SFRH/BD/128889/2017) awarded to Mafalda Costa. The authors would also like to acknowledge the financial support of the Ghent University (Belgium) and the Government of the Republic of Angola. The contribution of all authors of the scientific publications where the results of this work can be found is also acknowledged.

References

- Costa, M., Barrulas P., Dias, L., Lopes, M.d.C., Barreira, J., Clist, B., Karklins, K., de Jesus, M.d.P., da Silva Domingos, S., Vandenabeele, P. & Mirão, J. (2019) Multi-analytical approach to the study of the European glass beads found in the tombs of Kulumbimbi (Mbanza Kongo, Angola). *Microchemical Journal*, 149, 103990.
- Costa, M., Barrulas, P., Dias, L., Lopes, M.d.C., Barreira, J., Clist, B., Karklins, K., de Jesus, M.d.P., da Silva Domingos, S., Moens, L., Vandenabeele, P. & Mirão, J. (2020). Determining the provenance of the European glass beads of Lumbu (Mbanza Kongo, Angola). *Microchemical Journal*, 154, 104531.
- Costa, M., Barrulas, P., Lopes, M.d.C., Barreira, J., de Jesus, M.d.P., da Silva Domingos, S., Vandenabeele, P. & Mirão, J. (2023). Personal adornments in West-Central Africa—the case study of a talc bead from the Kongo Kingdom (Mbanza Kongo, Angola). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 15, 22.
- Gilbert, A.S., Goldberg, P., Holliday, V.T., Mandel, R.D. & Sternberg, R.S. (eds.) (2017). *Encyclopedia of Geoarchaeology*. Springer. 1046 pp.
- Pollard, M. (ed.) (1999). *Geoarchaeology: exploration, environments, resources*. Geological Society, Special Publications. 165 pp.
- White, C.L. & Beaudry, M.C. (2009). Artifacts and personal identity. *In*: D. Gaimster & T. Majewski (eds.). *International Handbook of Historical Archaeology*. Springer, 209-225

Fluid evolution in tin and tungsten deposits associated with Laza-Rebordelo-Murçós shear zone – Preliminary Results

Evolução dos fluídos em depósitos de estanho e tungsténio associados com a zona de cisalhamento de Laza-Rebordelo-Murçós – Resultados preliminares

S. Costa e Silva (1), A. Guedes (2) and F. Noronha (2)

(1) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto; Rua do Campo Alegre 687, Porto, Portugal; up201307744@up.pt, scostasilva@ua.pt
(2) Instituto de Ciências da Terra, Polo-Porto e Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto; Rua do Campo Alegre 687, Porto, Portugal

Sumário: A Zona de Cisalhamento Laza-Rebordelo-Murçós (ZCLRM), localizada na Zona Galiza-Trás-os-Montes, é uma estrutura ao longo da qual ocorrem diversos jazigos filonianos de estanho (Sn) e tungsténio (W). Trata-se de filões de quartzo com cassiterite (p.e. Ervedosa), associados a granitos de duas micas, e de scheelite sem cassiterite (p.e. Murçós), associados a granitos biotíticos. Esta contribuição foca-se no estudo preliminar de inclusões fluidas em minerais dos filões mineralizados de Murçós que têm scheelite como minério de tungsténio. A scheelite e o quartzo apresentam inclusões fluidas primárias contendo fluídos aquo-carbónicos. Os resultados criométricos preliminares sugerem a existência de outros voláteis para além do CO₂ nos fluídos associados à mineralização tungstífera.

Palavras-chave: Inclusões fluídas, Quartzo, Scheelite, Murçós

Key words: Fluid inclusions, Quartz, Scheelite, Murçós

The Laza-Rebordelo-Murçós shear zone (LRMSZ) is located in the eastern of the Galicia-Trás-os-Montes Zone (GTMZ), not far of its limits with the Central Iberian Zone (CIZ) (Julivert et al., 1974). Along this structure, several tin (Sn) and tungsten (W) mineralized quartz veins occur, distributed in the axial zone of the Chaves-Miranda do Douro antiform, hosted by the Silurian metasediments of the Parautochthonous Domain and spatially associated to a great variety of variscan granitic rocks (Derré et al., 1987). We aim to study a set of deposits that occur along the LRMSZ and the main examples are Ervedosa (Sn) and Murçós (W) deposits, both corresponding to old productive mines. One of the most notable characteristics of these deposits is the differential expression of metallic ores, with the occurrence of veins with dominant mineralization of cassiterite, in Ervedosa, and of scheelite, in Murçós, spatially related to two-mica granites and biotitic granites, respectively. Aiming to investigate the importance of the fluids in the current distribution of Sn and W in quartz veins and therefore contributing to better understand the metallogenesis of Sn and W deposits a comparative study of the fluid evolution in the different types of quartz veins, cassiterite-rich and scheelite-rich, and with both ore minerals will be carried to evaluate the magmatic and hydrothermal contribution and study the importance of magmatic-hydrothermal transition in the mineralizing

processes. The study will combine field observation, information from mineral assemblages and trace element geochemistry of minerals, microthermometric and Raman studies of fluid inclusions in quartz, cassiterite and scheelite, and dating. The origin, P–T–X conditions and fluid flow evolution for the different studied veins will be reconstructed and will contribute to better understanding the formation of Sn and W quartz veins associated with LRMSZ. It is important to assess whether there are genetic affinities between the Sn and W mineralization. That is, whether they are independent in space and time and therefore related to different granites, or whether, on the contrary, they correspond to a continuous process and its difference is only due to the existence of a peribatolytic zoning.

Preliminary studies of the W-veins from Murçós show an association of scheelite with a generation of clear, euhedral to sub-euhedral quartz (Qz I). This quartz shows in some crystals, the presence of primary fluid inclusions distributed in clear and darker bands interpreted as growth zones (Fig. 1).

At room temperature these inclusions are either with one vapor phase (V), two-phases with one liquid and other vapour (L+V) or even polyphasic comprising two liquid phases and vapor (Fig. 2) or two liquid phases, vapor and a solid phase(s) (S). Similar fluid inclusions poorly preserved were identified in

scheelite, although only two-phase (L+V) and three-phase (L1+L2+V) were identified.



Fig. 1. Euhedral crystal of the first quartz generation (Qz I) with distinctive growth zones containing primary fluid inclusions.

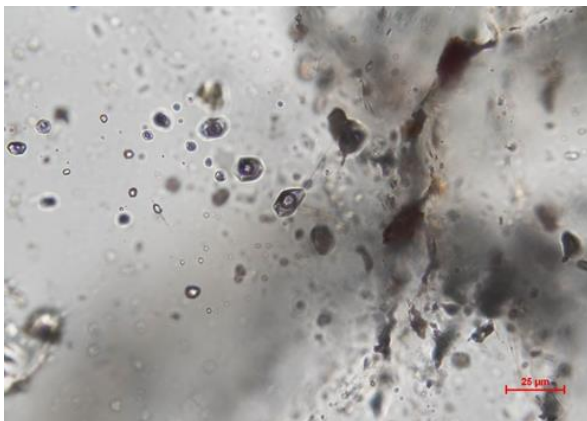


Fig. 2. Example of primary fluid inclusions (L+V+ liquid CO₂) on Qz I.

A second generation of quartz (Qz II) with very small mosaic crystals rims in the Qz I, being interpreted as the result of its plastic recrystallization. In this case, fluid inclusions were exclusively identified along grain boundaries, corresponding to both two-phase (L+V) or one-phase (L) at room temperature, with a degree of filling (Flw) between 0,90 – 0,95.

Both scheelite and quartz I present tension cracks concordant with tension gashes, sometimes filled with a third clear quartz generation (Qz III) associated with sulphide mineralization composed of galena, pyrite, chalcopyrite, and sphalerite. Fluid inclusions associated with Qz III are two-phase (L+V) and three-phase (L1+L2+S), with an Flw between 0,7-0,9.

Preliminary cryometric results obtained from primary fluid inclusions in both scheelite and associated quartz (Qz I) have showed respectively temperatures of melting of TmCO₂ (°C) between -60,9 - -57,2 °C and -58,3 - -58,1 °C. The ice melting temperatures were observed in the range of -7,4 to -5,2 °C for fluid inclusions in scheelite and from -5,4 to -5,2 °C on quartz. The clathrate melting temperatures were comprised between 7,9 – 14,9 and 9 – 14,7 °C.

Preliminary cryometric data indicate that fluids associated with scheelite have other volatiles in addition to CO₂ since TmCO₂ is less than -56.6 °C.

Acknowledgments: The present work was supported by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT), grant 2021.05376.BD and project UIDB/04683/2020 - ICT (Institute of Earth Sciences).

References

- Derré, C., Lecolle, M., Maurel-Palacin, D., Noronha, F. & Roger, G. (1987). Evolution granitique et mineralisations filoniennes Sn-W dans le Nord du Portugal. *Chronique de la Recherche Minière*, 487, 63-74.
- Julivert, M., Fontbote, J.M., Ribeiro, A. & Conde, I. (1974). Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares. E: 1/1.000.000, IGME.

O magmatismo mais antigo da Faixa Piritosa Ibérica: dados geocronológicos U-Pb da Jazida do Salgadinho, Cercal

The oldest magmatism of the Iberian Pyrite Belt: U-Pb geochronological data from the Salgadinho deposit, Cercal

L.M. Feitoza (1,2,3,4), T. Bento dos Santos (1,3), J. Lains Amaral (1,3,4), A.R. Solá (4), C.C.G. Tassinari (5), M.A.S. Basei (5), J.X. Matos (4), L. Albardeiro (4) and I. Morais (4)

- (1) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa
- (2) Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Roraima
- (3) DG-FCUL - Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências de Lisboa, Universidade de Lisboa
- (4) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG); rita.sola@lneg.pt
- (5) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

Summary: New U-Pb geochronological data (SHRIMP/LA-ICP-MS) is presented for zircons of volcanic rocks and dark shales of the Salgadinho deposit, located in Cercal, Iberian Pyrite Belt. Results show that the main magmatic event was placed between 387-392 Ma, indicating the oldest volcanism in the Iberian Pyrite Belt so far. Inherited and detrital zircon ages suggest affinity to Laurussian and Avalonia (s.l.) peri-Gondwanan sources, which provides additional constraints on the paleogeographic positioning of the Iberian Pyrite Belt during the Variscan Cycle.

Key words: Iberian Pyrite Belt, Salgadinho deposit, U-Pb geochronology.

Palavras-chave: Faixa Piritosa Ibérica, jazida do Salgadinho, Geocronologia U-Pb.

Introdução

A jazida do Salgadinho faz parte da Faixa Piritosa Ibérica (FPI; Fig. 1), uma das maiores províncias do mundo de sulfuretos maciços vulcanogénicos, tendo as suas mineralizações sido depositadas em meio marinho síncronas com rochas vulcânicas félsicas e sedimentos da Formação de São Luís (Faria, 2013). A sequência litostratigráfica da FPI compreende o Grupo Filito-Quartzítico, o Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS) e o Grupo do Flysch do Baixo Alentejo. A jazida do Salgadinho está associada ao CVS, representado por xistos cinzentos escuros de idade famenniana (Pereira et al., 2008), sedimentos vulcanogénicos e raros chertes da Formação de São Luís e por rochas vulcânicas félsicas (e raras máficas) (Faria, 2013), estando a mineralização presente tanto nas rochas vulcânicas como nos sedimentos. Apresentam-se, pela primeira vez, resultados geocronológicos U-Pb (SHRIMP e LA-ICP-MS) em zircão para as rochas vulcânicas encaixantes e sedimentos da jazida do Salgadinho.

Descrição das amostras e resultados

As rochas vulcânicas são ácidas, com textura granular, granofírica e clivagem penetrativa, sobretudo quando mostram alteração sericítica. Regularmente mostram fenocristais de quartzo e feldspato, e sulfuretos disseminados ou em agregados cristalinos. Do ponto de vista geoquímico, classificam-se como riólitos e riodacitos/dacitos. Os sedimentos da Formação de São Luís são laminados com frequentes intercalações de rochas vulcânicas félsicas e clastos vulcânicos

félsicos, ocorrendo sulfuretos disseminados, em agregados e ocasionais vénulas de pirite e calcopirite.

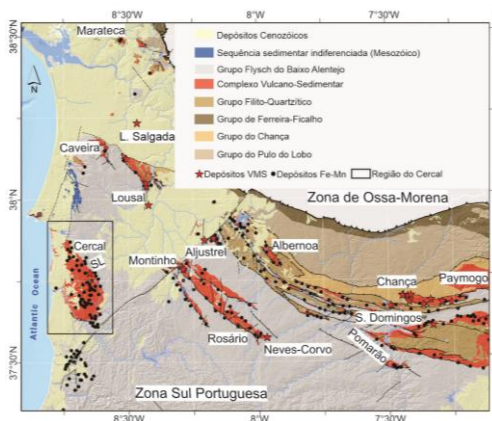


Fig. 1. Mapa geológico da Zona Sul Portuguesa mostrando parte da FPI e a localização da Jazida do Salgadinho (SL), região do Cercal (Adaptado de Oliveira, 1990).

A geocronologia foi realizada em 9 amostras (5 vulcânicas – SHRIMP e 4 sedimentos – SHRIMP e LA-ICP-MS), recolhidas no furo SL1 realizado pelo Serviço de Fomento Mineiro em 1970, tendo-se obtido os seguintes resultados:

Rochas vulcânicas ácidas: Amostra LJ-41 (571-572 m). 15 spots foram analisados (15 concordantes) com idades $^{208}\text{Pb}/^{236}\text{U}$ entre 372 e 754 Ma, com 8 spots (8 núcleos) a definirem um cluster com idade concórdia de 388.2 ± 3.2 Ma (MSWD=0.00063; p=0.98). Outra idade concórdia em 5 grãos foi de 416.3 ± 5.1 Ma. As razões Th/U variam entre 0.48 e 0.58 para os zircões magmáticos e 0.09 e 0.59 para os zircões herdados; **Amostra LJ-40** (547–548 m). 18 spots foram

analisados (16 concordantes) com idades entre 342 Ma e 703 Ma. 14 spots (11 núcleos e 3 bordos) definem um cluster com idade concórdia de 392.6 ± 3.1 Ma (MSWD=0.00018; $p=0.99$). As razões Th/U variam entre 0.39 e 0.66 para estes 14 zircões magmáticos; **Amostra LJT-37** (460–461 m). 20 spots foram analisados (16 concordantes) com idades a variar entre 355 Ma e 517 Ma, em que 12 spots (11 núcleos e 1 bordo) definem um cluster com idade concórdia de 392 ± 3.0 Ma (MSWD=0.00093; $p=0.98$). Outra idade concórdia com 2 grãos foi de 415.3 ± 8.5 Ma (MSWD=0.0; $p=0.996$). As razões Th/U variam entre 0.45 e 0.68 para os zircões magmáticos e 0.49 e 0.85 para os zircões herdados; **Amostra LJT-13** (82–83 m). 14 spots foram analisados (11 concordantes) com idades a variar entre 376 Ma e 441 Ma. 6 spots (6 núcleos) definem um cluster com idade concórdia de 390.4 ± 4.3 Ma (MSWD=0.024; $p=0.88$). Outra idade concórdia foi de 409.5 ± 7.4 Ma ($n=3$; MSWD=0.0026; $p=0.96$). As razões Th/U variam entre 0.26 e 0.64 para os zircões magmáticos e 0.14-0.41 para zircões herdados; **Amostra LJT-39** (528–529 m). 15 spots foram analisados (14 concordantes) com idades a variar entre 354 Ma e 670 Ma, em que 3 definem um cluster com idade concórdia de 361.4 ± 6.6 Ma (MSWD=1.19; $p=0.28$) e 8 spots (7 núcleos e 1 bordo) definem uma idade concórdia de 387.7 ± 3.1 Ma (MSWD=0.13; $p=0.72$). Outra idade concórdia em 3 grãos foi de 408.4 ± 6.2 Ma (MSWD=0.00084; $p=0.98$). Razões Th/U variam entre 0.41-0.61 para os zircões magmáticos e 0.46-0.92 para os herdados.

Sedimentos da Fm. de São Luís: Amostra LJT-33 (418–419 m). Foram analisados 21 spots (18 concordantes). Foi obtida uma idade concórdia de 407 ± 7.1 Ma ($n=2$; MSWD=0.10), enquanto outras 4 idades definem uma idade concórdia de 578 ± 8.1 Ma (MSWD=0.028; $p=0.87$) e 5 spots definem uma idade concórdia de 651.5 ± 8.3 Ma (MSWD=0.51; $p=0.48$). Ainda importantes são os picos de idade a 1592 Ma ($n=1$) e 2088 Ma ($n=2$). Esta amostra foi também datada por LA-ICP-MS tendo sido analisados 67 spots (44

concordantes). Uma idade concórdia de 375.2 ± 3.1 Ma (MSWD=0.013; $n=4$) é considerada como a MDA mais provável e mais próxima da idade palinológica (miosporos da Biozona VH; Famenniano Superior; Pereira et al., 2008). Outros picos relevantes são: 400 Ma ($n=3$), 516 Ma ($n=3$), 579 Ma ($n=3$), 661 Ma ($n=5$), 945 Ma ($n=1$) e 2536 Ma ($n=2$); **Amostra LJT-31** (387–388 m). Foram analisados 19 spots (17 concordantes) com 3 a definirem uma idade concórdia de 435.3 ± 15 Ma (MSWD=0.064; $p=0.80$). Na ausência de um cluster que defina uma idade de deposição realista, a idade $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ mais jovem (385 Ma) é considerada uma MDA mais fiável. Picos de idade relevantes são: 580 Ma ($n=3$), 652 Ma ($n=3$), 1577 Ma ($n=1$) e 2006 Ma ($n=2$); **Amostra LJT-20** (152-153 m). Foram analisados 16 spots (11 concordantes) com idades a variar entre 426 e 720 Ma. Picos de idade relevantes são: 642 Ma ($n=5$) e 708 Ma ($n=4$); **Amostra LJT-14** (100–101 m). Foram analisados 19 spots (14 concordantes). Uma idade concórdia de 384 ± 17 Ma (MSWD=0.16; $n=2$) é considerada como a MDA. Picos de idade relevantes são: 646 Ma ($n=8$), 728 Ma ($n=4$), 1816 Ma ($n=1$) e 2155 Ma ($n=1$).

Conclusões preliminares

O evento magmático principal ocorreu entre 387-392 Ma, tendo a Jazida do Salgadinho as rochas vulcânicas com a idade mais antiga conhecida em toda a FPI. Eventos magmáticos dessa idade já tinham sido documentados noutros jazigos da FPI como idade herdada (e.g.: Lains Amaral et al., 2022). Neste contexto, as ocasionais idades mais jovens (342-376 Ma) são interpretadas como perda de Pb associada a eventos posteriores. As idades do Devónico inferior (~410 Ma) confirmam eventos magmáticos crípticos correlacionados com a Laurússia. Adicionalmente, tanto os padrões de idade dos zircões herdados como dos detriticos (idades superiores a 500 Ma) sugerem forte afinidade com os terrenos peri-gondwânicos da Avalónia (s.l.), tal como previamente reportado por outros autores (e.g.: Lains Amaral et al., 2022).

Agradecimentos: Os autores agradecem às equipas técnicas do LNEG, FCUL, IDL, GEOLAB (USP) e CPGEO (USP). Trabalho financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) – UIDB/50019/2020.

Referências

- Faria, A.F. (2013). Geological Report on Cercal Exploration Concession (Southern Portugal). Colt Res.Inc., 172 pp.
- Lains Amaral, J., Solá, A.R., Bento dos Santos, T. & Chichorro, M. (2022). Detrital zircon similarities and dissimilarities between the Iberian Pyrite Belt, Ossa-Morena Zone and Meguma. *Geologica Acta*, 20.16, 1-19.
- Oliveira, J.T. (1990). Stratigraphy and synsedimentary tectonism. In: R.D. Dallmeyer & E. Martinez-Garcia (eds.). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer Verlag, 334-347.
- Pereira, Z., Matos, J.X., Fernandes, P. & Oliveira, J.T. (2008). Palynostratigraphy and systematic palynology of the Devonian and Carboniferous successions of the South Portuguese Zone, Portugal. *Memórias do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*, 34.

Potentially toxic elements of soils and floodwaters in rice paddies of Baixo Vouga Lagunar (Aveiro, Portugal)

Elementos potencialmente tóxicos em solos e águas de inundação de arrozais do Baixo Vouga Lagunar (Aveiro, Portugal)

M. Gama (1), N. Durães (1) and C. Patinha (1)

(1) GEOBIOTEC – Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193, Aveiro, Portugal, marianagama@ua.pt

Sumário: Este estudo focou-se na avaliação da qualidade dos solos e águas de inundação de arrozais (em cultivo e abandonados) do Baixo Vouga Lagunar. Os solos caracterizam-se por baixos valores de pH, elevada condutividade elétrica e altos teores de matéria orgânica. A análise química revelou teores de As, Pb, Cu e U que ultrapassam os limites de concentração para solos agrícolas estabelecidos pela Agência Portuguesa do Ambiente. As maiores concentrações de As, Pb e U foram determinadas nos solos de arrozais abandonados, enquanto os campos cultivados exibiram maiores teores de Cu. A extração química seletiva sequencial mostrou que o Pb e o U estão fortemente associados a frações disponíveis, enquanto os (hidr)óxidos amorfos de Fe são as principais fases de suporte do As e do Cu. Não obstante, as águas de inundação desses arrozais apresentaram baixas concentrações desses elementos potencialmente tóxicos, sugerindo baixa mobilização dos solos para as águas.

Palavras-chave: arrozais, Baixo Vouga Lagunar (BVL), elementos potencialmente tóxicos (EPT), extração química seletiva sequencial (EQSS).

Key words: rice paddies, Baixo Vouga Lagunar (BVL), potentially toxic elements (PTEs), sequential selective chemical extraction (SSCE).

Introduction

Rice is mostly cultivated under continuous or intermittent flooding conditions, which promote the alternation of oxidising and reducing conditions in soils. This peculiarity has an influence on the behaviour and availability of nutrients, but also of metal(loid)s (Figueiredo *et al.*, 2013). When the availability of potentially toxic elements (PTEs) is favoured in soils, their migration to waters and uptake by plants is facilitated. If these metal(loid)s are translocated and bioaccumulated in the aerial parts of plants, namely in rice grains, this could pose a risk to human health through their ingestion (Kibria *et al.*, 2016).

The present work aimed at investigating whether the current rice cultivation practices have an impact on the quality of the BVL soils and if the characteristics of these soils condition the yield and quality of the rice produced. Thus, soil and floodwater samples were collected either from rice paddies abandoned more than 40 years ago or from rice paddies under cultivation. Accomplishment of the objectives of this work involved: (a) physicochemical and chemical characterisation of soils; (b) chemical analysis of soils

and floodwaters; and (c) evaluation of the availability of the main PTEs.

Study area

The Baixo Vouga Lagunar (BVL) is a complex lagoon system stretching from the mouth of the Vouga River to the Antuã River, located in the Central Coastal Zone of mainland Portugal, in the district of Aveiro. The BVL, located on the northern sector of the Lusitanian Basin, is composed of recent alluvial deposits and dune sands (Teixeira & Zbyszewski, 1976).

Alluvial deposits are notorious for their high productivity, given their granulometric and mineralogical characteristics and high organic matter contents. Accordingly, the BVL soils have historically been used for a wide range of agricultural activities, namely for rice cultivation.

Methodology

Soil and water sampling involved three campaigns in April and July of 2021 and March of 2022. A total of 33 surface soil samples (*ca.* 20 cm) and 13 floodwater samples were collected.

Soil samples were sieved to a fraction <2 mm. An unmilled aliquot was used for determination of physicochemical parameters (pH, electrical conductivity - EC, organic matter content - OM) and for sequential selective chemical extraction (SSCE). The other subsample was grounded and used for chemical analysis by ICP-MS after acid digestion. The latter technique was also used to obtain the chemical concentrations of the floodwaters (filtered at 0.45 μm).

Results and discussion

The studied samples are characterised by $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ values varying from ultra-acidic to strongly-acidic (3.1-5.2), with values being generally lower in soils under cultivation. The OM contents are classified as very high in all the samples (7-34 %) and, as expected, given the lower remobilisation and greater vegetation cover, the highest values are found in the samples collected on abandoned fields. Regarding $\text{EC}_{1:2}$ values, the abandoned soils can be classified as moderately to strongly saline (4830-13000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) and the cultivated fields as non-saline (278-907 $\mu\text{S cm}^{-1}$).

Among the analysed elements, concentrations of some PTEs were of concern, namely As (16-83 mg kg^{-1}), Cu (20-125 mg kg^{-1}), Pb (33-269 mg kg^{-1}) and U (3-13 mg kg^{-1}). All samples exhibit As and U contents exceeding the concentration thresholds for agricultural soils (11 and 1.9 mg kg^{-1} , respectively) according to APA (2022). In general, concentrations of these elements tend to be higher in the abandoned fields. On the other hand, Cu and Pb, only exceed the national thresholds (62 and 45 mg kg^{-1} , respectively) in some samples. Copper shows higher values in cultivated fields and Pb in abandoned rice paddies. The origin of these PTEs seems to be mainly geogenic, but anthropogenic contributions should not be

excluded, namely through the use, in the past, of agrochemicals with As, Pb and U in their composition and, currently, through the application of fungicides containing Cu.

Through the SSCE assays it was possible to identify the main support phases of the most relevant PTEs in these soils. Thus, Pb and U showed a strong association to exchangeable and/or soluble fractions, fact that may facilitate their migration and/or uptake by plants. On the other hand, As and Cu have amorphous Fe-oxyhydroxides as dominant support phases, whose dynamics may be strongly conditioned by the water column variations in the fields, which induce alternation between reducing (flooding) and oxidising (sequestration) conditions.

In contrast to the soils, the concentrations of As, Cu, Pb and U in floodwaters do not exceed the maximum allowable limits for irrigation waters. This reflects a low mobility of these metal(loid)s from soils to waters.

Conclusions

Concerning contents of As, Cu, Pb and U have been detected in the BVL rice paddies. Despite the greater availability of Pb and U in soils (as shown by SSCE results), the amounts of these metal(loid)s in flood waters are low. While the origin of these PTEs is still uncertain, evidence suggests a dominantly geogenic source. However, anthropogenic inputs cannot be ruled out.

Given the widely documented accumulation of arsenic in rice grains, in a near future, we intend to analyse rice grains grown on BVL soils. Depending on the PTEs contents, and in order to estimate potential risks to human health, we will also perform oral bioaccessibility assays.

Acknowledgments: This study was funded by Labex DRIIHM/Estarreja OHMi-International Observatory Hommes-Milieux (OHMI-CNRS) through the SOILRICE project (Ref. OHM-E/2018/Proj.1) and by GEOBIOTEC (UID/GEO/04035/2020), sponsored by the Portuguese Foundation of Science and Technology (FCT).

References

- APA – Agência Portuguesa do Ambiente (2022). Solos Contaminados - Guia Técnico: Valores de referência para solos (Revisão 3). Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora, Portugal, 72p.
- Figueiredo, N., Menino, R., Prazeres, A., Fareleira, P., Vargues, A., Carranca, C., Marques, P., Pereira, J., Goufo, P., Trindade, H., Carneiro, J., Couto, N., Mateus, E., Ribeiro, A. & Coutinho, J. (2013). O cultivo do arroz e a resposta do agrossistema às alterações ambientais de temperatura e dióxido de carbono. *Vida Rural*, 28-31.
- Kibria, G., Hossain, M.M., Mallick, D., Lau, T.C. & Wu, R. (2016). Monitoring of metal pollution in waterways across Bangladesh and ecological and public health implications of pollution. *Chemosphere* 165, 1-9.
- Teixeira, C. & Zbyszewski, G. (1976). Carta Geológica de Portugal 1:50000. Notícia explicativa da Folha 16-A (Aveiro). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Rede Iberoamericana de Investigadores Forenses - RIIF

Ibero-American Network of Forensic Investigators - RIIF

A. Guedes (1), H. Ribeiro (1), H. Sant'Ovaia (1), B. Senra, A.C. Santos (1),
B. Valentim (1) e C. Molina (2)

- (1) Instituto de Ciências da Terra, Pólo Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, rua do Campo Alegre, 4169-007 Porto, Portugal, aguedes@fc.up.pt
- (2) Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia

Summary: *The RIIF has brought together nine Latin American countries (Argentina, Brazil, Chile, Colombia, Spain, Guatemala, Mexico, Peru and Portugal), with experts from the public and private sectors, civil organizations and universities, around a common social purpose of putting the science and technology at the service of civil society with the aim of providing alternative solutions to the problems that have been generated by armed conflicts, organized crime and other forms of violence.*

Keywords: *Clandestine graves, victims of conflict, transfer of knowledge and technology*

Palavras-chave: Sepulturas clandestinas, vítimas de conflitos, transferência de conhecimento e tecnologia

A Rede Iberoamericana de Investigadores Forenses - RIIF é constituída por nove países latino-americanos (Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Espanha, Guatemala, México, Peru e Portugal), reúne especialistas dos setores público e privado, organizações civis e universidades, em torno de um propósito social comum de colocar a ciência (nomeadamente a Geologia Forense, entre outras) e a tecnologia a serviço da sociedade civil. Esta rede está orientada para o desenvolvimento da inteligência forense para a deteção de sepulturas clandestinas e para o aperfeiçoamento de métodos técnico-científicos de investigação forense, com o objetivo de oferecer soluções alternativas aos familiares dos desaparecidos e demais vítimas de conflitos armados, crime organizado e outras formas de violência.

Os principais objetivos da RIIF são:

- Orientar as atividades científicas de cada grupo de investigação integrante da RIIF para projetos comuns cooperativos e sinérgicos que permitam fortalecer as competências de cada um e adquirir conhecimentos acerca de novas tecnologias, de forma a divulgar e capacitar a sociedade civil, ONGs, autoridades e instituições governamentais, por meio de atividades de extensão;

- Facilitar um contexto sinérgico através do intercâmbio de cientistas e técnicos entre os grupos dos países membros, transferência de conhecimento e tecnologia avançada entre os membros da rede, e divulgar as atividades da rede junto dos demais países Iberoamericanos para eles se associarem;

- Promover a apropriação social do conhecimento por meio da participação dos cidadãos, a circulação e comunicação do conhecimento com ONGs e outras organizações da sociedade civil no que diz respeito aos protocolos, bases de dados e métodos padronizados forenses, para que o Estado e demais órgãos judiciais procurem as suas vítimas;

- Divulgar todos os resultados científicos, técnicos e de inovação obtidos e que continuarão a ser desenvolvidos, junto das autoridades judiciárias, setoriais, locais e nacionais focadas na promoção do exercício da cidadania, na tomada de decisão, capacitação e sustentabilidade;

- Promover a articulação da RIIF com outras instituições especializadas em ciências forenses e o setor privado por meio da participação cooperativa em propostas e atividades de investigação, desenvolvimento e inovação.

Agradecimentos: A “Rede Iberoamericana de Investigadores Forenses –RIIF” é financiada pelo CYTED- Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. A investigação levada a cabo no âmbito da RIIF inclui-se nas atividades do Grupo de Investigação em Geomateriais e Recursos Geológicos do Instituto de Ciências da Terra no âmbito dos projetos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Valores de fundo natural geoquímico de solos do Parque Natural da Serra da Estrela (Setor de Manteigas-Torre)

Background values for soils of Serra da Estrela Natural Park (Manteigas-Torre sector)

V. Martins (1,2), J. Espinha Marques (1,2), J. Ribeiro (3,4) e C. Mansilha (5)

(1) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 4169-007 Porto, Portugal; up19970277@fc.up.pt

(2) Instituto de Ciências da Terra – Pólo da Universidade do Porto, 4169-007 Porto, Portugal

(3) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, Portugal.

(4) Instituto Dom Luiz, Portugal.

(5) Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, Departamento de Saúde Ambiental, Portugal.

Summary: This study was carried out in the Serra da Estrela Natural Park (Manteigas-Torre sector), to determine the background chemical composition of soils. Twenty-nine samples were collected at different altitudes and in places with the same geological substrate. The soil background was determined based on the methodology proposed by the Portuguese Environmental Agency (APA). The results reveal some variability in soil chemical composition attributed to natural variations, vegetal cover, hydrological regime, and solar exposure, which influence the pedological processes. The comparison with reference values for Portuguese soils shows that soils from the studied area have a higher concentration of As, Ba, Be, Mo, Pb, Se, Tl, and U, at least in some samples.

Key words: Serra da Estrela, soil, chemical composition, natural background.

Palavras-chave: Serra da Estrela, solo, composição química, fundo natural.

O Parque Natural da Serra da Estrela (PNSE) localiza-se na Cordilheira Central do território continental de Portugal, com uma orientação ENE-WSW (Ribeiro et al., 2007). O património natural do PNSE, incluindo a geodiversidade e biodiversidade, tem sido continuamente estudado e valorizado.

Com o presente trabalho, pretende-se contribuir para o conhecimento sobre o património natural do PNSE, através do estudo da composição química dos solos. Os objetivos específicos deste trabalho são: (i) determinar a composição química elementar de solos no setor de Manteigas-Torre; (ii) definir o fundo natural geoquímico dos solos neste setor. Para além do contributo para o conhecimento acerca do PNSE, os resultados deste trabalho poderão vir a representar uma ferramenta importante em estudos da qualidade de solos e potenciais problemas de contaminação.

Foram recolhidas vinte e nove amostras de solo, tendo a amostragem incidido, preferencialmente, sobre o Vale do Zêzere e o Vale da Candeeira, em áreas com substrato geológico homogéneo. As amostras foram recolhidas após remoção da cobertura vegetal e até 20 cm de profundidade. Na figura 1 pode-se observar a localização dos pontos de amostragem sobre cartografia geológica simplificada.

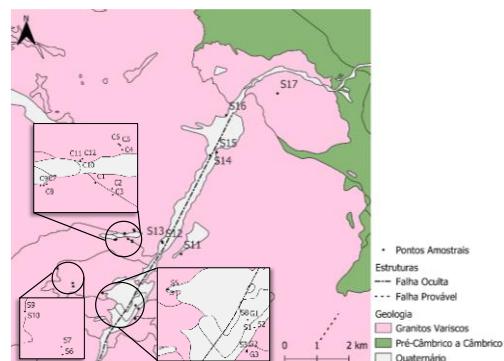


Fig. 1. Localização dos pontos de amostragem de solo no setor de Manteigas-Torre do PNSE, projetados sobre a cartografia geológica simplificada (adaptado Teixeira et al., 1975 & Carvalho et al., 1996).

Geologicamente, na área do PNSE ocorrem, predominantemente, granitos variscos, rochas metassedimentares do Complexo Xisto- Grauváquico, bem como depósitos glaciários e fluvioglaciários do Quaternário, aluviões e depósitos arcósico-argilosos (Ferreira & Vieira, 1999).

No setor estudado, ocorrem granitos e depósitos glaciários e fluvioglaciários. Os solos mais comuns nesta região têm um perfil tipo ACR, em que o horizonte A úmbrico está associado a Umbrissolos e Leptossolos úmbricos. A textura é arenosa-franca ou arenosa. A mineralogia dos solos demonstra uma

origem detrítica, com o predomínio de filossilicatos, quartzo, plagioclase e feldspato potássico (Espinha Marques, 2007).

As amostras de solo foram secas ao ar, crivadas a 2 mm e moídas. A composição química em elementos maiores, menores e vestigiais foi determinada no laboratório Bureau Veritas Mineral Laboratories (Canadá). A determinação do fundo natural geoquímico dos solos teve como base a metodologia proposta pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2022). Os valores de referência de contaminantes para solos em Portugal, constam no guia Solos Contaminados - Guia Técnico, Valores de Referência para o Solo (APA, 2019).

A metodologia proposta pela APA (2022) inclui a análise estatística através do cálculo de valor mínimo e valor máximo observado; valor médio, variância, desvio-padrão e desvio médio absoluto; percentis (P10, P25, P50, P75, P90 e P95); valores extremos e valores anómalos; coeficiente de assimetria; tipo de distribuição; intervalo de valores [média $\pm 2\sigma$]; intervalo de valores [mediana $\pm 2DAM$]. Os resultados revelam alguma variabilidade na composição química dos solos (atribuída a variações naturais do substrato geológico), altitude, tipo de vegetação, regime hidrológico do solo e exposição solar, que condicionam os processos pedológicos. Nos solos do vale da Candeeira, registam-se diferenças bastante evidentes nas amostras com origem nas duas vertentes com diferente exposição solar.

Dos elementos maiores analisados, o Al e K são os mais abundantes, seguidos do Na e Fe. Os elementos Ca, Mg e Ti têm concentrações médias inferiores a 1%. Na figura 2 pode-se observar a variação destes elementos nas amostras de solos.

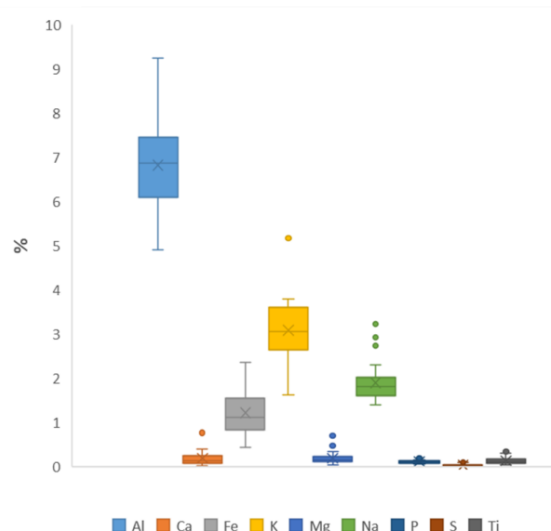


Fig. 2. Distribuição dos elementos maiores e menores analisados nos solos.

Dos elementos incluídos no guia de valores de referência propostas pela APA (2019) para áreas sensíveis, os elementos Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Sb, V, e Zn têm concentração inferior nos solos estudados quando comparados com os valores de referência. O As, Ba, Mo, Pb e Se apresentam, em alguns locais, concentração acima do valor de referência. O Be, U e Tl tem concentração acima do valor de referência em todos os solos. A concentração de alguns elementos vestigiais, é da mesma ordem de grandeza entre amostras da mesma área de amostragem.

Os dados obtidos oferecem uma representatividade significativa para os valores naturais para os solos da área estudada, resultando numa ferramenta importante para ser utilizada em estudos subsequentes.

Agradecimentos: Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projetos Ref^s UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- APA, Agência Portuguesa do Ambiente (2019). Solos Contaminados – Guia Técnico, Valores de Referência para o Solo. Lisboa. 72 pp.
- APA, Agência Portuguesa do Ambiente (2022). Solos Contaminados – Guia Técnico, Metodologia para Determinação de Valores de Fundo Natural do Solo. Lisboa. 18 pp.
- Carvalho L.H.B., Peres A.M., Santos J.P., Barros R.F. & Teixeira C. (1996). Carta Geológica de Portugal 1:50 000, folha 17-D Gouveia. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Espinha Marques, J.M. (2007). Contribuição para o conhecimento da hidrogeologia da região do Parque Natural da Serra da Estrela (Sector de Manteigas – Nave de Santo António – Torre). Universidade do Porto, Faculdade de Ciências. 466 p.
- Ferreira, N. & Vieira, G. (1999). Guia geológico e geomorfológico do Parque Natural da Serra da Estrela: locais de interesse geológico e geomorfológico, Instituto da Conservação da Natureza.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, L., Fonseca, P.E., Araújo, A., Oliveira, J.T., Romão, J., Chaminé, H.I., Coke, C. & Pedro, J. (2007). Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. *Tectonics*, 26, 1-24.
- Teixeira C., Carvalho H. & Santos J.P. (1975). Carta Geológica de Portugal 1:50 000, folha 20-B Covilhã. Serviços geológicos de Portugal, Lisboa.

W-Sn metallogenetic map: a case study in the “Alto-Douro” area

Mapa metalogénico de W-Sn: um caso de estudo na área do “Alto-Douro”

A. Mota (1), H. Sant’Ovaia (2) and F. Noronha (2)

(1) Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Instituto de Ciências da Terra, Pólo Porto, Rua do Campo Alegre s/n 4169-007 Porto, up201100453@fc.up.pt

(2) Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Instituto de Ciências da Terra, Pólo Porto, Rua do Campo Alegre s/n 4169-007 Porto

Sumário: O projeto ESMIMET desenvolveu o estudo de mineralizações de W e/ou Sn associadas a magmatismo ácido, e elaborou o mapa metalogénico para estas substâncias no Norte e Centro Portugal, e, Castela e Leão em Espanha. Para o desenvolvimento deste projeto foi necessário desenvolver uma classificação litológica, especialmente para rochas graníticas para ser possível comparar as áreas em estudo nos dois países. Neste trabalho apresentamos, como exemplo, a área do “Alto-Douro” onde foram efetuados estudos mais pormenorizados dos granitos associados às mineralizações W e/ou Sn. O trabalho de campo e os estudos petrográficos permitiram a distinção de diferentes granitos. Estudos geoquímicos, em especial dos elementos terras raras (ETR) revelaram informações fundamentais para a distinção de diferentes tipos de granitos, nomeadamente dos granitos com duas micas. Granitos moscovíticos, que ocorrem sempre associados às mineralizações, são pobres em ETR e com anomalia em Eu superior aos granitos de duas micas.

Palavras-chave: granitos, tungsténio, estanho, metalogenia, geoquímica

Key words: Granites, tungsten, tin, metallogeny, geochemistry

Integrated on the ESMIMET project, a metallogenic map of northern and central Portugal and Castile and León in Spain was elaborated. In this work is presented the study case of the “Alto-Douro” region.

The granite classifications adopted in the geological maps published in Portugal (IGM, 2000) and in Spain (IGME, 2015) are diverse, which leaves the need of adopting a uniform classification. The type and age of the granites are the most important factors in the elaboration of the metallogenic map. A lithological classification, with which it was possible to establish a trend for a specific mineralization related to a certain type of granite, was selected (Fig. 1). Considering the mineralization distribution analyses, it is possible to attest that the essential of mineralization occur where the granites intrude the metasediments of the Douro Group of the Schist-Greywacke Complex (SGC).

The granite massifs are composite and have similar petrographic and geochemical characteristics. Even so, the combination of petrography and total rock geochemical data prove to be discriminative, which indirectly allow conclusions to be drawn about mineralogy and the presence or absence of mineralization. In the “Alto Douro” region, the Ms>Bt granites, when compared with the associated Bt>Ms

granites, present lower values of Σ REE, the REE are characterized by identical patterns with Σ LREE (light REE) greater than Σ HREE (heavy REE) and identical Eu anomalies suggesting processes of differentiation and identical genesis and evolution for this type of granites. Muscovite-rich granites are poor in REE and present patterns with a strong Eu anomaly, allow us to distinguish them from two-mica granites, suggesting a different origin or a much higher degree of differentiation.

It is purpose to go deeper in this investigation, checking the case of two-mica peraluminous Variscan granite massifs associated with Lagoaça scheelite deposit namely: Fonte Santa and Bruçó (belonging to the cross-border Bruço-Aldeadavilla de la Ribera massif), Fornos and Carviçais massifs (Conde et al., 1971; Pereira et al., 2014). The study of these massifs is particularly important considering all the potential of the “Douro Scheelite Belt” (DSB) (Goinhas, 1985), located north and south of the Douro River between Régua and Freixo-de-Espada-à-Cinta that includes a set of scheelite deposits located in the contact of SGC formations with Variscan granites.

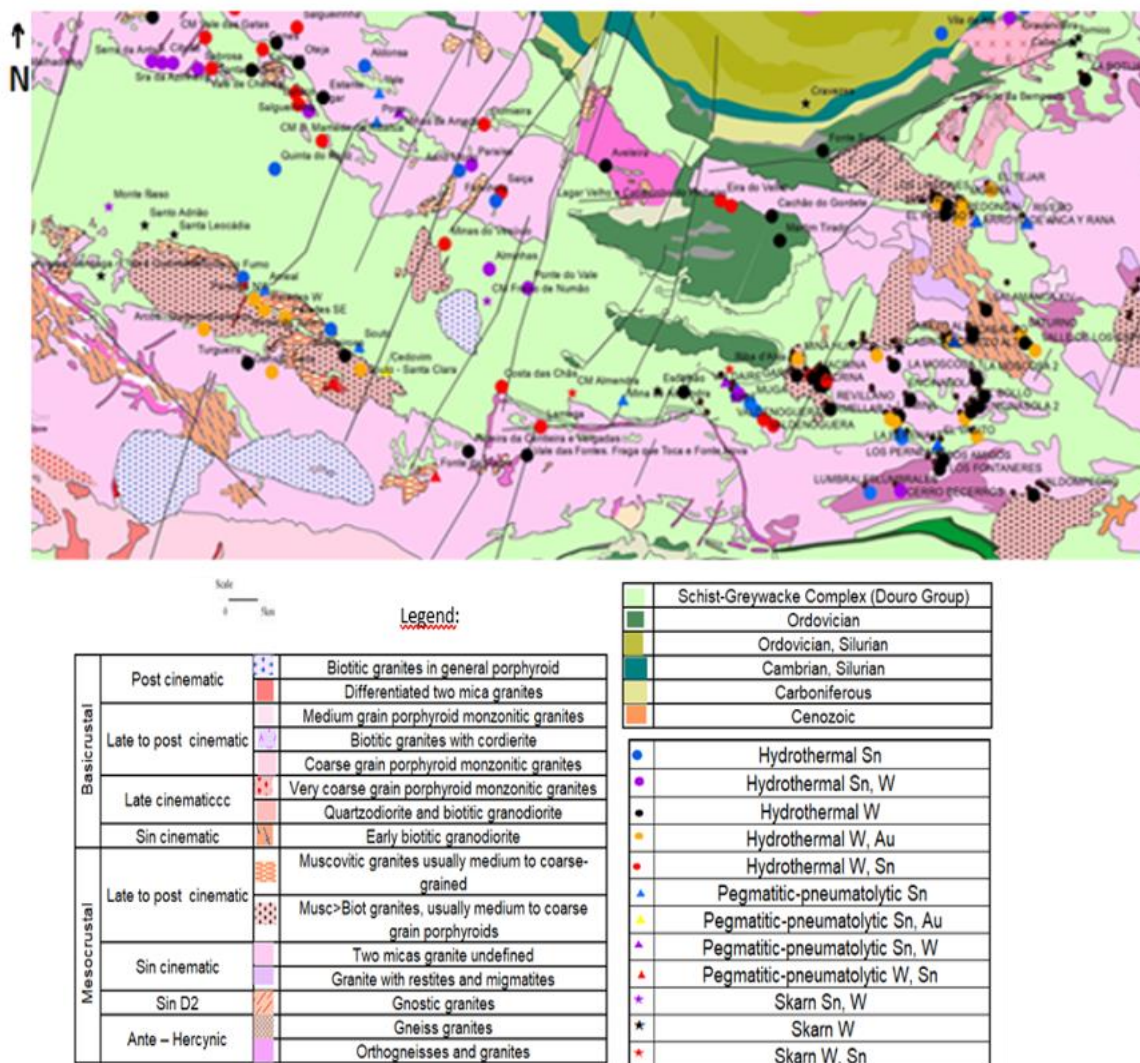


Fig. 1. Extract of ESMIMET metallogenic map for "Alto Douro" area

Acknowledgements: This work is supported by national funding awarded by FCT - Foundation for Science and Technology, I.P., projects UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020. The PhD project is also financially supported by SFRH/BD/13757/2022, (FCT Portugal). The authors thank the project POCTEP-Interreg 0284_ESMIMET_3_E "Desarrollo de Capacidades Interregionales en torno a los Recursos Estratégicos en Minería Metálica" and to Oscar Fadon from SIEMCALSA.

References

- Conde, L.N., Pereira, V., Ribeiro, A., Thadeu, D., (1971). Livro Guia da Excursão nº7 "Jazigos hipogénicos de Estanho e Volfrâmio". I congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica. Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Lisboa.
- Fernández, L.R.R., Olmedo, F.L., Oliveira, J.T., Medialdea, T., Terrinha, P., Matas, J., Martín-Serrano, A., Parra, L.M.M., Rubio, F., Marín, C., Montes, M., Nozal, F., (2015). Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1:1.000.000. Instituto Geológico Y Minero de España.
- Instituto Geológico e Mineiro, (2000). Carta Geológica de Portugal à escala 1/200 000, Folha 2. Lisboa.
- Goinhas, J. (1985). A Prospeção Mineira em Portugal - Áreas Potenciais de Aplicação dos Projectos. Direcção-Geral de Geologia e Minas. Boletim e Minas Vol. 22, n. 91, 3-86.
- Pereira, E., Rodrigues, J., Ribeiro, A., Dias, R., Rebelo, J.A., Silva, A.F., (2014). Notícia explicativa da folha 11-D Carviçais. Unidade de Geologia, Hidrogeologia e Geologia Costeira do Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Lisboa.

The Compositional Heterogeneity of Late to Post-Variscan, Mafic Subvolcanic Dykes from Northern Portugal (Central Iberian Zone)

A Heterogeneidade Composicional dos Diques Máficos Subvulcânicos, Tardi a Pós-Variscos do Norte de Portugal (Zona Centro Ibérica)

A. Oliveira* (1,2), H.C.B. Martins (1,2) and H. Sant’Ovaia (1,2)

(1) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007, Porto, Portugal, up201107754@edu.fc.up.pt

(2) Instituto de Ciências da Terra, Polo do Porto, Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007, Porto, Portugal

Sumário: Este trabalho foca-se na apresentação e interpretação de dados de geoquímica de rocha total sobre alguns diques subvulcânicos máficos, localizados no norte de Portugal, associados às fases tardi a pós-tectónicas da orogenia Varisca. Em geral, as rochas analisadas são razoavelmente frescas, ultrabásicas a intermédias, metaluminosas a moderadamente peraluminosas, e calcoalcalinas ou alcalinas. Não existem evidências a favor da ocorrência de contaminação crustal, mas a cristalização fracionada deverá ter influenciado a evolução petrogenética. Embora a maioria dos diques tenha provavelmente sido gerada através de fontes litosféricas modificadas por subducção, os restantes possivelmente derivaram da astenosfera. Existem também diferenças importantes no que diz respeito à mineralogia residual das fontes, assim como sobre os graus de fusão.

Palavras-chave: Lamprófiros, Doleritos, Diques, Magmatismo Permo-Carbonífero, Orogenia Varisca

Keywords: Lamprophyres, Dolerites, Dykes, Permo-Carboniferous Magmatism, Variscan Orogeny

The existence of lamprophyre and dolerite dykes on the Portuguese section of the Central Iberian Zone (CIZ) has been recognized since the 20th century (e.g., Ferreira & Macedo, 1979). However, due to the highly altered state of most of these rocks, their petrographic and geochemical features have only been poorly constrained. This work reports the bulk-rock composition of some reasonably fresh, late to post-Variscan, mafic dykes found in northern Portugal, and provides a few insights into their petrogenesis. The lithologies analyzed within the scope of this study were the Lamas de Olo (LO) lamprophyre, the Vila Nova de Foz Côa (VNFC) microgabbro, and several dolerites from the Vila Real (VR), Penafiel, and Torre de Moncorvo (TM) regions. We have also considered an alkali basalt dyke from Gonçalo (Guarda), originally studied by Ramos & Noronha (2019), for comparative purposes.

All specimens exhibit high LOI values (3.05–7.68%). For the LO lamprophyre, this feature is primary and related to the characteristic high volatile contents and corresponding elevated proportions of composing hydrous minerals such as biotite and amphibole. For the VNFC microgabbro, Penafiel dolerite, and Gonçalo dyke, the major and trace element concentrations suggest that alteration was not significant, meaning that both LILE and HFSE provide primary information about the petrogenesis. On the other hand, it is plausible to presume that the

post-magmatic alterations which influenced the LO lamprophyre and VR plus TM dolerites were only moderately significant, having mainly disturbed the contents of the most mobile elements.

Considering the SiO₂ concentrations, the LO lamprophyre (SiO₂ = 52.35–54.32%) and VR dolerite (SiO₂ = 57.43–58.11%) are chemically intermediate, the TM dolerites are basic to intermediate (SiO₂ = 51.43–57.23%), the Penafiel and Gonçalo specimens are basic (SiO₂ = 47.03% and 45.33–47.43%, respectively), and the VNFC microgabbro is ultrabasic (SiO₂ = 43.85%). Furthermore, the microgabbro is presumably the most primitive rock, whereas the VR dolerite is probably the most evolved one. The LO lamprophyre is ultrapotassic (K₂O/Na₂O = 11.83–21.03), calc-alkaline to alkaline, and weakly to moderately peraluminous (A/CNK = 0.99–1.09; ASI = 1.12–1.24), the VR and TM dolerites are calc-alkaline (K₂O/Na₂O = 0.45–2.54) and metaluminous to weakly peraluminous (A/CNK = 0.85–1.40; ASI = 0.86–1.41), the VNFC microgabbro and Gonçalo specimens are alkaline (K₂O/Na₂O = 0.28–0.78) and metaluminous (A/CNK = 0.67–0.82; ASI = 0.68–0.86), and the Penafiel dolerite is metaluminous (A/CNK = 0.83; ASI = 0.86) and presents both alkaline and tholeiitic features (K₂O/Na₂O = 0.35; Nb/Y = 0.55; Zr/Nb = 10.57). Moreover, the lamprophyre is remarkably enriched in K₂O (7.10–7.57%), Ba (4313–4755 ppm), Sr (1235–1355 ppm), Sn (103–187 ppm), W (21–50

ppm), and REE (658.23–836.93 ppm), when compared to all other dykes. Based on geotectonic classifications, even though these subvolcanic lithologies were generated under a transitional, orogenic to anorogenic regime, those carrying a predominant arc-related signature (*i.e.*, LO lamprophyre, VR and TM dolerites) are possibly older, while the ones denoting a more post-orogenic nature (*i.e.*, Penafiel dolerite, Gonçalo samples, VNFC microgabbro) might be slightly younger.

The VNFC microgabbro, Penafiel dolerite, and Gonçalo dyke were not contaminated by crustal materials. Likewise, contamination is unlikely to have exerted any meaningful influence on the whole-rock geochemistry of the VR and TM dolerites. However, the occurrence of this phenomenon in the Lamas de Olo case cannot be completely cast aside due to the presence of quartz xenocrysts. Despite the relatively unevolved nature of the VNFC microgabbro, none of the mafic hypabyssal lithotypes is geochemically primitive. The prior contemplation implicates that crystal fractionation has played either a minor or more meaningful role on the petrogenetic evolution.

Several geochemical features of the LO lamprophyre and VR plus TM dolerites suggest that these rocks were generated from subduction-modified lithospheric sources. Since the lamprophyre exhibits substantial REE contents and high values for the Rb/Sr ratio (0.29–0.44), melting of the respective source is likely to have occurred shortly after the subduction-related metasomatic event. Metasomatism of the mantle sources for the VR and TM dolerites was presumably dominantly caused by (carbonate-rich) fluids released from dehydration of the subducting plate (Fig. 1). Contrastingly, pelagic sediments and the melts formed from their partial melting were, probably, mostly responsible for the metasomatism of the LO lamprophyre source. On the other hand, the VNFC microgabbro and Gonçalo

samples possibly derived from OIB-like, asthenospheric sources, whereas the petrogenesis of the Penafiel dolerite (whose composition displays OIB and E-MORB-like signatures) is presumably associated with both lithospheric and asthenospheric contributions.

The sources of the LO lamprophyre, Penafiel dolerite, and Gonçalo specimens were probably situated in the garnet stability field, while the sources of the VNFC microgabbro and VR plus TM dolerites might have been located between the garnet and spinel stability fields. Furthermore, the melts from which the LO lamprophyre and Gonçalo dyke crystallized possibly resulted from low-degree batch melting (between < 0.1 to 5%) of a garnet-bearing peridotite. For the remaining lithologies, the presence of residual spinel and the source melting degrees (1 to 10%) are implied to have been much higher.

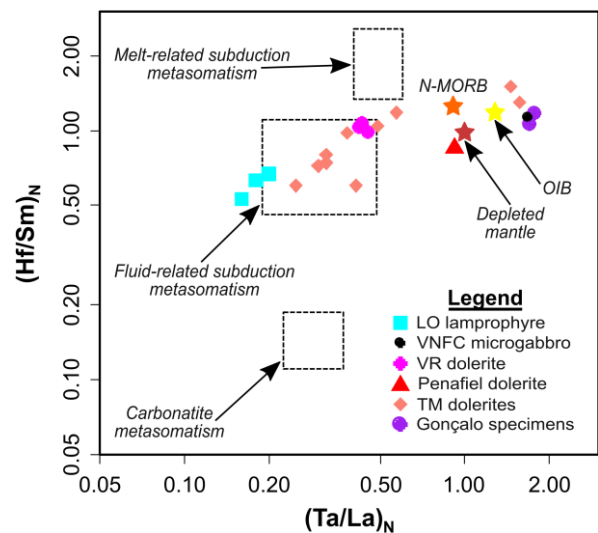


Fig. 1. Projection of mafic hypabyssal dykes from northern Portugal in the $(Ta/La)_N$ versus $(Hf/Sm)_N$ binary diagram. Fields representing distinct metasomatic components after LaFlèche et al. (1988).

Acknowledgements: This work is supported by national funding awarded by FCT – Foundation for Science and Technology, I.P., projects UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020. The main author is also financially supported by FCT through an individual Ph.D. grant (reference SFRH/BD/138818/2018).

References

- Ferreira, M.P., & Macedo, A.R., (1979). Atividade magmática durante o Mesozóico: 1 – Achega para a datação K-Ar das rochas filonianas básicas intrusivas na Zona Centro Ibérica (Portugal). *Memórias e Notícias, Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra*, 87, 29-49.
- LaFlèche, M.R., Camiré, G., Jenner, G.A., (1998). Geochemistry of post-Adian, Carboniferous continental intraplate basalts from the Maritimes Basin, Magdalen Islands, Québec, Canada. *Chemical Geology*, 148 (3-4), 115-136.
- Ramos, V., & Noronha, F., (2019). Geoquímica de um filão de rochas básicas alcalinas de Gonçalo (Guarda). *Congresso Ibérico de Geoquímica e X Semana de Geoquímica, Évora, Portugal, Abstract book*, 137-140.

Mineralogy, geochemistry and petrogenesis of the late-post-tectonic Variscan Juncais granite (Central Iberian Zone): preliminary results

Mineralogia, geoquímica e petrogénese do granito tardi-pós-tectónico Varisco de Juncais (Zona Centro-Ibérica): resultados preliminares

L. Portela (1), M.R. Azevedo (1), J. Medina (1) and S. Ribeiro (1)

(1) Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, GeoBioTec, 3810-193 Aveiro, Portugal.
luispedroportela@ua.pt

Sumário: O granito biotítico-moscovítico de Juncais constitui uma pequena intrusão Varisca tardi-pós-cinemática que aflora no setor sul da região de Fornos de Algodres (Zona Centro-Ibérica). Novos dados petrográficos e elementares demonstram que o plutão é composto por amostras com composições contrastantes, desdobrando-se em dois grupos: (1) baixo-Fe e (2) alto-Fe, que refletem variações nas abundâncias de biotite, apatite, ilmenite, zircão e polimorfos de alumínio (andaluzite, fibrolite). Estas diferenças são interpretadas como o resultado da disseminação, em diferentes proporções, de cristais restíticos residuais (xenocrísticos) nos magmas. Com base em dados elementares e isotópicos de Sr-Nd, sugere-se que o granito de Juncais resulte da fusão parcial de uma fonte supracrustal heterogénea, que poderá corresponder aos metassedimentos do Grupo das Beiras do Complexo Xisto-Grauváquico.

Palavras-chave: granitos anatócticos, fontes de magma, granitos Variscos

Key words: anatectic granites, magma sources, Variscan granites

Geological setting

The Fornos de Algodres region, located in the Central Iberian Zone (CIZ) of the Iberian Massif, is dominantly composed of syn- to late-post-kinematic Variscan granitoids. The majority of these granitoids intruded metasediments of Ediacaran-Lower Cambrian age, belonging to the so-called Schist and Greywacke Complex (SGC), during or immediately after the last Variscan ductile deformation event (D_3).

In this study, we present field, petrographic and geochemical data for one of the Fornos de Algodres late-post- D_3 intrusions, known as the Juncais granite.

Field occurrence

The Juncais granite constitutes a small pluton (3×5 km) in the southern part of the Fornos de Algodres area. It contains quartz, K-feldspar, plagioclase, biotite and muscovite and exhibits a fine-medium grained inequigranular texture. Due to the presence of small K-feldspar megacrysts, the Juncais granite assumes, in places, a slightly porphyritic character.

The Juncais granite is bounded by the Fornos coarse porphyritic granite (north and east), by the Freixiosa medium-grained granite (west) and by the Alcaface medium porphyritic granite (south). Contact relationships with adjoining granites range from sharp to interdigitated. The local development of gradational transitions, biotite layering and mutual penetration features at the contacts between the different granite types suggest that emplacement of

these intrusions occurred within a relatively narrow span of time (300-295 Ma) with partial overlap between consecutive intrusive phases (Valle Aguado *et al.*, 2017).

Petrography and mineral chemistry

The Juncais fine-medium-grained granite shows significant textural and mineralogical heterogeneity, marked essentially by the occurrence of internal variations in the modal abundances of biotite (4-8 %) and muscovite (3-11 %) and the presence/absence of sillimanite and andalusite. Apatite, zircon, monazite and ilmenite are common accessory phases.

Quartz (28-32 %) is dominantly xenomorphic and interstitial. Some grains show undulose extinction and incipient subgranulation. K-feldspar (25-38 %) is perthitic microcline (Or_{83-97}) and occurs both as anhedral grains in the groundmass or as subhedral megacrysts. Carlsbad and cross-hatch twins are generally more developed on megacrysts. Plagioclase (23-34 %; An_{1-37}) is subhedral to anhedral, twinned on the albite polysynthetic law and optically zoned. Megacrystic plagioclase exhibits more idiomorphic morphologies and stronger optical zonation. Biotite is the main mafic mineral phase in this granite and tends to occur in close association with primary muscovite. It is mostly subhedral, strongly pleochroic and carries abundant inclusions of accessory mineral phases. Biotite compositions are typical of biotites from aluminopotassic associations, with $Al^{total} = 3.25-$

3.64 apfu, Mg = 0.50-0.73 apfu and X_{Fe} ($Fe_T/[Fe_T+Mg]$) = 0.64-0.76. Muscovite crystals are subhedral, lath-shaped and may occur either as single isolated flakes or intergrown with biotite. Their elevated Ti, Na and Al and low Mg contents are consistent with a magmatic origin. Apatite is the dominant accessory phase. Zircon, monazite and ilmenite occur as minute grains, preferentially included in biotite. Some samples, unevenly distributed throughout the pluton, contain small andalusite grains and fibrolitic sillimanite. The fine fibrolite needles seem to represent relicts of a previous folded pattern, pointing to a metamorphic provenance.

Analytical techniques

Elemental compositions of 22 whole-rock samples were obtained at Activation Laboratories (Canada) and at Imperial College (UK). Chemical analyses of minerals were carried out by electron microprobe at the University of Oviedo (Spain). Sr and Nd isotope ratios were determined at the Laboratory of Isotope Geology of the University of Aveiro (LGI-UA) by thermal ionisation mass spectrometry (TIMS).

Whole-rock elemental and Sr-Nd geochemistry

The Juncas granite exhibits a strongly peraluminous character ($A/CNK = 1.1-1.3$). SiO_2 and K_2O contents are high ($SiO_2 = 71-74\%$; $K_2O = 4.8-5.8\%$), CaO and ΣREE abundances low to moderate (CaO = 0.7-1.1%; $\Sigma REE = 173-240$ ppm) and MgO concentrations are low (0.3-0.6%). Overall, the major and trace element composition of the Juncas granite is consistent with a derivation from metasedimentary crustal sources. In most major and trace element plots against Fe_2O_{3T} , the samples of the Juncas granite show a decrease of MgO, TiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , Sr, Zr and ΣREE concentrations accompanied by an increase in SiO_2 and Na_2O contents with decreasing Fe_2O_{3T} values. However, there is a small compositional gap at Fe_2O_{3T} values of 1.87-2.10%, separating two clusters of samples (Fig. 1a-b). The high-Fe cluster shows K_2O and Ba contents similar or lower than the least evolved samples of the low-Fe cluster and steeper REE patterns (Fig. 1c). The lack of continuity between samples of both groups cannot be easily reconciled with a simple liquid line of descent and appears to result from the presence of higher amounts of biotite, apatite, ilmenite, zircon

and aluminium polymorphs in the high-Fe samples (as supported by petrographic evidence).

The metamorphic appearance of sillimanite /andalusite in the biotite-enriched samples of the high-Fe group suggests that these minerals could correspond to anatectic refractory crystals from the metasedimentary source region. Variable degrees of dissemination and partial re-equilibration of restitic material with the felsic melt would then explain the chemical heterogeneity and irregular distribution of these samples at the pluton scale.

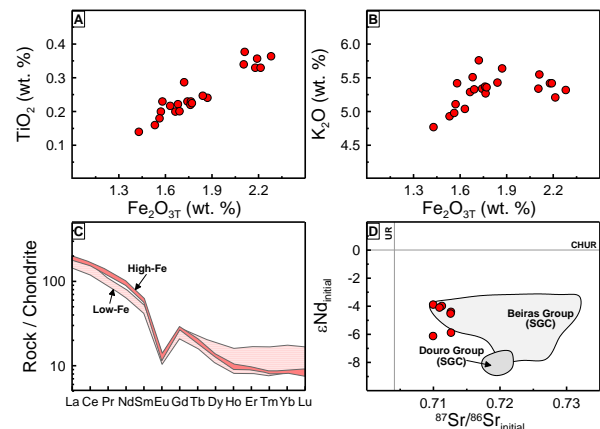


Fig. 1. Juncas granite: (a) TiO_2 vs. Fe_2O_{3T} diagram; (b) K_2O vs. Fe_2O_{3T} diagram; (c) REE patterns; (d) ϵNd_i vs. $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ diagram.

Recalculation of Sr and Nd isotope compositions to a presumed age of 300 Ma (Fig. 1d) reveal that the Juncas granite is characterised by highly radiogenic $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ ratios (0.710-0.712) and negative, but variable, ϵNd_i values (-6.1 to -3.8). Although the Sr-Nd isotope data favour an origin from anatexis of metasedimentary sources, the lack of isotopic homogeneity within pluton samples suggests that the putative protoliths were isotopically heterogeneous. Given the close match between the isotope signatures of the Juncas granite and those of the Beiras Group of the SGC ($^{87}Sr/^{86}Sr_i = 0.710-0.731$; $\epsilon Nd_i = -7.1$ to -3.3), it is proposed that SGC materials could represent a suitable source reservoir for this magma.

Conclusion

Petrographical and geochemical data for the late-post-kinematic Juncas pluton show that this granite could have derived from partial melting of the SGC metasediments.

Acknowledgments: This work was financially supported by the GeoBioTec Research Centre (UID/GEO/04035/2020) and by a PhD grant (2021.08848.BD), both sponsored by the Foundation of Science and Technology (FCT).

References

Valle Aguado, B., Azevedo, M.R., Nolan, J., Medina, J., Costa, M.M., Corfu, F. & Martínez Catalán, J.R. (2017). Granite emplacement at the termination of a major Variscan transcurrent shear zone: The late collisional Viseu batholith. *Journal of Structural Geology*, 98, 15-37.

Modificações geoquímicas num cambissolo cálcico devido ao impacto de uma antiga indústria de fundição (Coimbra, centro de Portugal)

Geochemical modifications in a calcic cambisol by the impact of an old metallurgic industry (Coimbra, center of Portugal)

M. Porto Gouveia, (1), M. Vinha (2) e P. Carvalho (3)

(1) Universidade de Coimbra, MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente e ARNET- Rede de Investigação Aquática, Departamento de Ciências da Terra; mariamporto@gmail.com

(2) Universidade de Coimbra, CITEUC-Centro de Investigação da Terra e do Espaço - Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal

(3) Geobiotec - Geociências, Geoengenharias e Geotecnologias. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

Summary: Numerous anthropogenic activities, like the metal industry, could add a great number of potentially toxic elements to soils. These activities may have a negative impact on the environment and, as a result, on human health. In this work, soil samples from an old foundry that operated for five decades in Coimbra and has since been dismantled, are described. To understand the effects of the foundry's activity on the soil, the mineralogy, physicochemical parameters, and geochemistry of the soil foundry area were examined and compared to regional soils. According to public guidelines, the factory soil's enrichment and level of pollution were also evaluated. There is no uniformity in the way contaminants and pollutants are disposed of around the foundry, but there is a correlation between the kind of material used and the locations where they are stored, disposed of, and finished locally.

Key words: urban soils, contamination, pollution, foundry

Palavras-chave: solos urbanos, contaminação, poluição, fundição

O estudo da contaminação dos solos provocada pela atividade industrial constitui uma questão ambiental de extrema relevância nos nossos dias.

Um grande número de elementos potencialmente tóxicos é introduzido no solo devido a atividades antrópicas, e podem ter resultados negativos e consequências para o ambiente e, subsequentemente, para a saúde humana. Este trabalho apresenta a caracterização das amostras de solo recolhidas nas instalações de uma antiga fundição, já desativada e demolida, que funcionou durante o século passado na zona Industrial de Coimbra, centro de Portugal (Fig.1- A, B). A área em estudo enquadra-se na formação Margas e Calcários Margosos da Pedrulha (Soares et al., 1985). A unidade pedológica presente na área de estudo é a Cambissolo cálcico (IUSS, 2006).

A mineralogia, os parâmetros físico-químicos, a análise textural e a geoquímica dos solos do terreno de implantação da antiga indústria foram estudados e comparados com o solo regional de forma a compreender o impacto da atividade no terreno.

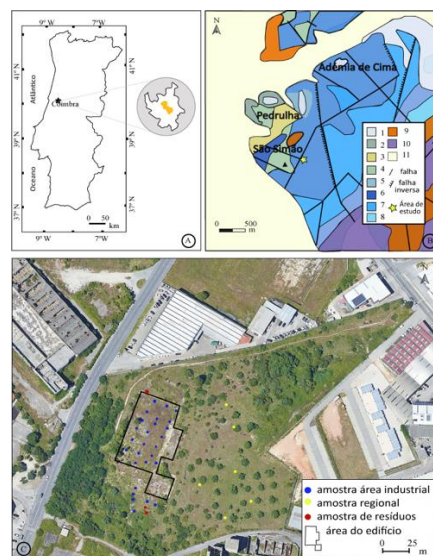


Fig. 1. A. Localização geográfica da área de estudo (Portugal Central). B. Mapa unidades líticas da área de estudo e envolvente (adaptado de Tavares, 2000). 1- depósitos coluviais e de vertente; 2- calcários, grés e margas; 3- arenitos grosseiros; 4- arenitos e pelitos vermelhos; 5- calcários margosos e margas; 6- calcários margosos; 7- margas e calcários; 8- calcários, calcários margosos e margas; 9- cascalheiras e areias vermelhas; 10- calcários dolomíticos; 11- depósitos aluvionares; 12- depósitos arenosos conglomeráticos; C. Localização dos pontos de amostragem e da área da antiga fundição.

No total foram colhidas 31 amostras na área da fábrica e 6 amostras compósitas regionais (Fig.1-C). Foram ainda colhidas 3 amostras constituídas por resíduos ferruginosos de cor quase negra, que se encontram depositados no terreno (Porto Gouveia, 2014).

A partir dos resultados químicos das amostras de solo da área onde esteve edificada a fábrica, foi aferido o grau de contaminação do terreno e quais as áreas de maior risco utilizando aos valores do fundo geoquímico de Portugal em Ferreira et al., (2001) e os limites máximos da norma Canadana (Ontario Guidelines, 2011).

Os solos em estudo são de origem calcária, constituídos maioritariamente por calcite, seguida de quartzo, feldspato e dolomite e traços de moscovite. Os minerais de argila presentes no solo são caulinite e ilite e, em menores quantidades, esmectite e vermiculite. O pH do solo na área de estudo é alcalino (8.0-8.6), não havendo distinção significativa com o pH do solo regional (8.0-9.1). Os valores da condutividade elétrica entre os dois tipos de solo não apresentam diferenças significativas. Os valores de percentagem da humidade nos solos regionais encontram-se entre os 2.97% - 4.64 % e entre 0.39% - 3.18% no solo na área de implantação da fundição. Verifica-se também maior percentagem de matéria orgânica nos solos regionais (3.06 - 4.70 %) do que nos solos da área de implantação da fábrica (0.64 - 2.64 %).

O solo onde esteve implantada a antiga indústria apresenta tendencialmente maiores teores de SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Zr, Sr, Rb, Pb, Zn, Cu, V, Nb e Bi do que o solo regional, resultantes da deposição de areia, sucatas e fragmentos metálicos (Fig.2). Os

resíduos de fundição apresentam elevadas concentrações de Zr, Zn, Cr, Cu, Ni, Sn, As e Pb que justificam os maiores teores destes elementos no solo em estudo em relação ao solo regional. A solo apresenta valores de contaminação em Th, V, Zn, Rb, Zr e Bi e valores de poluição em Cu (138 mg/kg) e Pb (131 mg/kg) e localmente em As (77 mg/kg), Cr (280 mg/kg) face à legislação utilizada.

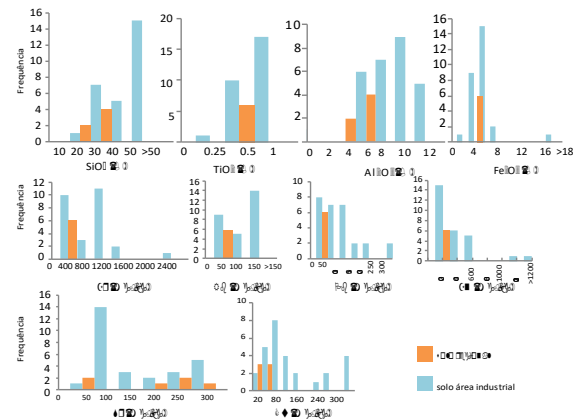


Fig. 2 – Diagramas de frequência dos elementos maiores (%) SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 e dos elementos traço (mg/kg) Zr, Rb, Pb, Zn, Sr, Cu no solo da área da fundição e no solo regional.

Este trabalho contribui para aprofundar o conhecimento sobre a identificação dos problemas ambientais associados a atividades industriais nomeadamente para averiguar a necessidade ou não da sua remediação numa zona de provável expansão urbana da cidade.

Referências

- IUSS Working group WRB (2006). World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication. 2nd edition, N.º 103, FAO, Rome.
- Ferreira, A., Inácio, M.M., Morgado, P., Baptista, M.J., Ferreira, L., Pereira, V. & Pinto, M.S. (2001). Low-density geochemical mapping Portugal. *Applied Geochemistry*, 16, 1323-1331.
- Ontario Ministry of the Environment (2011). Soil, Ground Water and Sediment Standards for Use Under Part XV.1 of the Environmental Protection Act Standards Development Branch, Ontario Ministry of the Environment. April 15th.
- Porto Gouveia, M. (2014). Contaminação de solos por antiga indústria de fundição na zona industrial da Pedrulha (Coimbra). Dissertação de Mestrado em Geociências - Ambiente e Ordenamento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 87 pp.
- Soares, A.F., Rocha, R.B. & Marques, J.F. (1985). Contribuição para o estudo geológico de Coimbra, *Memórias e Notícias*, Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra, 100, 41-71.
- Tavares, A. (2000). Condicionantes físicas ao planeamento: análise da suscetibilidade no espaço do concelho de Coimbra. Tese de doutoramento, apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra.

The Tabuaço quarry granite. An example of a rare elements-rich granite

O granito da pedreira de Tabuaço. Exemplo de um granito rico em elementos raros

V. Ramos (1,2), A. Mota (2), M. Rodrigues, (2) and F. Noronha (2)

(1) Camborne School of Mines, University of Exeter, Penryn Campus, Cornwall, TR10 9FE, UK; violetaimramos@yahoo.com

(2) Instituto de Ciências da Terra – Pólo Porto e Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n 4169-007 Porto, Portugal

Sumário: Numa pedreira localizada em Tabuaço a 4 km NW do skarn rico em W (Sn) de S. Pedro das Águias ocorre um granito de grão fino com fosfatos (Granito da Pedreira). A caracterização petrográfica, análises ao microscópio eletrónico de varrimento e microsonda Raman permitiram identificar a presença de turmalina, de cassiterite, de fosfatos do grupo trífilita-litiofilita, e de um fosfato azul, vivianite. Trata-se de um granito peraluminoso muito evoluído rico em Rb, Sn, W, Rb, Cs, F e Li e pobre em Sr. Altas concentrações em voláteis (F) e fundentes (Li, P e Al) são características comuns em granitos ricos em elementos raros associados a mineralizações de Sn, W, Nb e Ta. Em Tabuaço, é de sublinhar a ocorrência de jazigos tipo skarn com scheelite e minerais de estanho (cassiterite, malayaite e stokesite).

Palavras-chave: granito, geoquímica, mineralizações de W e Sn

Key words: granite, geochemistry, W and Sn mineralizations

The Tabuaço granite occurs as a border facies of about 300 m wide in the contact between the Tabuaço pluton and the formations of the Douro Group from Super Group Douro-Beiras. Tabuaço granite (TG) is a fine to medium muscovite granite where quartz occurs in irregular crystals, plagioclase is an albite with 3% anortite component, potassium feldspar is a microcline, tourmaline, phosphates, zircon, apatite and sulphides are present. Primary muscovite is relatively abundant and there is also secondary muscovite as a product of plagioclase alteration. Tourmaline appears in subhedral and anhedral forms, biotite is rare and is almost always chloritized (Sousa & Sequeira, 1989). Associated with the Tabuaço granite, we must refer the occurrence of a specific facies, corresponding to a more fine-grained granite with phosphates responsible for blue impregnations in the rock, the granite that is designated as “Quarry granite”. The “Quarry granite” (QG) was exploited in a quarry near Tabuaço Town, located 4 km NW of the S. Pedro das Águias (SPA) W(Sn) skarn deposit, and is indicated as aplite (ap) the 1/50,000 Alijó geologic map. (Sousa & Sequeira, 1989). The petrographic characterization complemented by scanning electron microscopy and Raman analysis allowed to identify the presence of tourmaline, phosphates from the trífilita-litiofilita series, cassiterite, and vivianite, a late blue

phosphate (Fig. 1). Both granites are peraluminous, with a molecular ratio $Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ ranging from 1.12 to 1.44 with the highest value found in the QG. The latter is also the most evolved granite, being rich in Rb, Sn, Li, Rb and Cs, and poor in Sr. It is also enriched in F (0.55%) and Li (0.22%). The TG is poor in REE with an average of ΣREE of 17.3 ppm, but richer than the QG with only 3.0 ppm. The Tabuaço granite have a flattened spectra with a well-marked negative Eu anomaly ($Eu/Eu^*0.02$). The “Quarry granite” exhibit REE spectra with similar patterns than aplites from SPA mine (Fig. 2). The lanthanide “tetrad effect” parameter for QG indicates a value <1 ($TE_{1,3} = 0.98$) in the group of mineralized rocks related to peraluminous-high-phosphorus Li-Sn granite systems. The “Quarry granite” is also characterized by high concentrations of volatile (F) and fluxing agents (Li, P and Al), which are common characteristics in granites rich in rare elements. Mineralization of Sn, W, Nb and Ta are very often spatially and, in many cases, genetically related to very specialized granitoids, of which those rich in Li and F are the most favourable. In the present case, it is worth mentioning the occurrence of skarns with scheelite and with tin minerals (cassiterite, malayaite and stokesite) (Ramos et al. 2017).

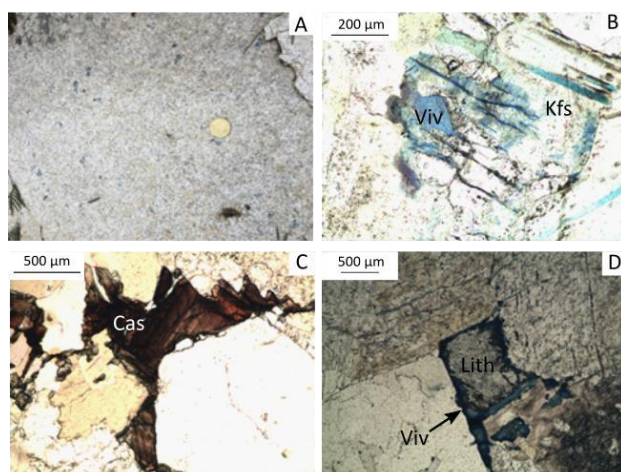


Fig. 1. A) "Quarry granite"; B) Vivianite impregnating a feldspar crystal; C) Zoned cassiterite D) Lithiophilite and vivianite. All microphotographs in plane polarized light. Viv – vivianite; Kfs – K-feldspar; Cas – cassiterite; Lith – lithiophilite.

Table I Geochemistry of the Tabuaço granite and aplites from SPA deposit (from Cerejo, 2013) and of the "Quarry granite" (present study)

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI	Total																
Tabuaço G n=5	Average 74,02	14,95	0,73	0,45	0,05	4,44	3,33	0,03	0,02	0,50	1,40	99,90																
	Sdev	0,85	0,12	0,07	0,15	0,01	0,20	0,31	0,01	0,01	0,18	0,10	0,76															
Aplite	Average	73,55	14,43	0,71	0,52	0,02	5,32	2,87	0,01	0,06	0,73	1,09	99,27															
	Sdev	0,78	0,25	0,09	0,05	0,01	0,62	0,35	0,00	0,04	0,30	0,23	1,48															
TAB-Quarry Granite	72,13	15,99	0,91	0,13	0,03	4,30	3,59	0,01	0,11	1,40	1,08	99,68																
Sample	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	REE total	Cs	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	U	W	Y	Zr	Li	F	
Tabuaço G n=5	Average	2,54	6,10	0,78	2,84	1,00	0,01	1,19	0,25	1,34	0,20	0,46	0,07	0,40	0,05	17,23	44,60	30,20	657,80	43,00	51,80	9,60	31,40	8,80	6,80	36,40	180,00	nd
	Sdev	0,43	1,07	0,15	0,51	0,15	0,00	0,16	0,04	0,19	0,03	0,07	0,01	0,06	0,01	20,48	1,48	128,90	6,12	41,36	1,95	6,27	0,45	1,10	4,72	98,99	nd	
Aplite n=2	Average	0,6	1,5	0,185	0,65	0,3	0,01	0,35	0,075	0,415	0,06	0,12	0,02	0,135	0,02	4,43	47,5	28	1036,5	41,5	67,5	5	21	27	2	30,5	325	nd
	Sdev	0,14	0,28	0,02	0,07	0,01	0,00	0,06	0,01	0,06	0,01	0,04	0,00	0,02	0,01	6,36	5,66	96,87	0,71	10,61	1,41	1,41	29,70	0,00	4,95	332,34	nd	
TAB-Quarry Granite	0,5	1,02	0,13	0,39	0,18	0,013	0,22	0,05	0,26	0,03	0,08	0,014	0,09	0,01	3,0	490	29,3	1590	154	4	37	13	11,5	1	18	2200	5500	

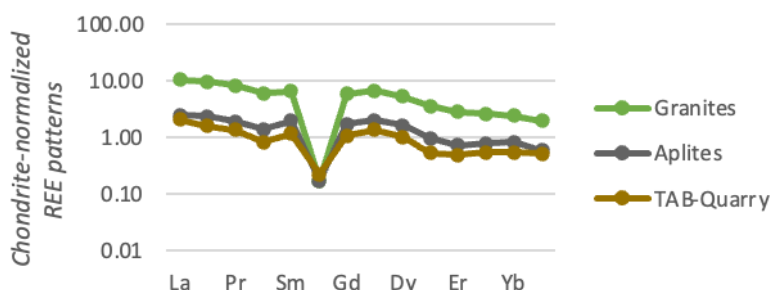


Fig. 2. Chondrite-normalized REE patterns (Evensen 1978) of the Tabuaço granite, "Quarry granite" and aplites.

Acknowledgements: This work is supported by national funding awarded by FCT - Foundation for Science and Technology, I.P., projects UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020.

References

- Cerejo, T. (2013) Geoquímica da Área de S. Pedro das Águias –Concessão de Tabuaço. Dissertação de Mestrado Universidade de Aveiro.
- Evensen, N.M., Hamilton, P.J. & O’Nions, R.K. (1978). Rare-earth abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42, 1199-1212.
- Ramos, V., Guedes, A., Noronha, F., Dolgoplova, A., Seltmann, R., Armstrong, R., Stanley, C., Simons, B., Andersen, J. & Rollinson, G. (2017). Sn mineralization in W skarns from 'Douro Scheelite Belt': the example of Tabuaço (Portugal). Book of abstracts of XII Congreso Nacional y XI Iberico de Geoquímica, Linares, Spain.
- Sousa, M.B. & Sequeira, A.J. (1989). Notícia Explicativa da Folha 10-D (Alijó) da Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Caraterização geoquímica dos resíduos de carvão afetados por combustão nas escombrelas da mina do Fojo – complexo mineiro do Pejão, Norte de Portugal

Geochemical characterization of coal waste affected by combustion in Fojo mine waste pile - Pejão mining complex, North of Portugal

P. Santos (1), A. Rajnauth (1), J. Espinha Marques (1), J. Ribeiro (2) M. Costa (1) e D. Flores (1)

(1) Instituto de Ciências da Terra (ICT), Departamento de Geociências Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, patricia.santos@fc.up.pt

(2) Instituto Dom Luís (IDL), Faculty of Sciences, University of Lisbon, 1749 – 016 Lisboa, Portugal.

Summary: Mines in the Douro Carboniferous Basin (DCB) were used for anthracite exploitation, producing many waste piles from coal residues that were abandoned without an adequate environmental management. The aim of this research was to study the geochemical behavior of the material deposited in one of these waste piles, that was affected by combustion in Fojo, Pejão mining complex, comparing it with other waste piles from DCB. The results show that the samples affected by combustion show an enrichment in Fe, Na, S, As, Bi, Sc, Sr, Th, Σ LREE and a depletion in Ca, Mn, Hf, Co, Ni, Pb, Mo and Zr, when compared with samples that were not pyrolytically affected. The results were also compared with the elemental averages of the mining residues deposited along the multiple waste piles from DCB, as baseline, highlighting a distinct geochemical signature for each waste pile, as result of the various lithological contributions in different areas of the basin.

Key words: coal waste, combustion, Fojo mine, geochemistry, Douro Coalfield

Palavras-chave: Resíduos de carvão, combustão, mina Fojo, geoquímica, Bacia Carbonífera do Douro

A combustão em resíduos mineiros de carvão, podem induzir transformações mineralógicas e geoquímicas profundas nos materiais. A mina Fojo, pertencente ao complexo mineiro do Pejão, teve até 1994 um papel bastante ativo na extração de antracite na Bacia Carbonífera do Douro (BCD). A BCD constitui o afloramento Carbonífero continental mais importante de Portugal, estendendo-se desde São Pedro de Fins (Maia) até Janarde (Arouca), numa faixa com dimensões aproximadas de 50 km de comprimento e um máximo de cerca de 500 m de largura (Pinto de Jesus *et al.* 2019). Ao longo da BCD vários campos mineiros procederam à exploração de antracite A, existindo várias escombrelas com resíduos resultantes da sua exploração, sem uma gestão ambiental adequada. A escombrela da mina do Fojo entrou em ignição em 2017, na sequência de fogos florestais, tendo sido extinto em 2019, após a remobilização dos materiais da escombrela associada à utilização de um agente de arrefecimento misturado com água e posteriormente cobertos com material lítico de natureza inerte. O objetivo deste estudo foi caracterizar geoquimicamente os resíduos depositados em escombrela, comparando aqueles que sofreram combustão, relativamente aos resíduos que não foram afetados por combustão. Estes resultados foram ainda comparados com dados

geoquímicos de materiais idênticos, sujeitos a processos equiparados, resultantes de outros estudos realizados na BCD. A caraterização destes resíduos de carvão é essencial para identificar os possíveis impactes ambientais e contribuir para a sua mitigação. Na área de trabalho, foram selecionadas 21 amostras de material depositado na escombrela do Fojo, estas incluíram 10 amostras termicamente afetadas pela combustão (EA), 5 que não foram afetadas (ENA) e 6 (EE) que continham materiais de mistura ardidos e não ardidos em resultado do processo de remobilização dos resíduos durante o processo de extinção. As amostras foram secas, peneiradas e moídas a 212 μ m, a caracterização geoquimicamente foi obtida após análise por espectrometria de massa acoplada a plasma indutivo (ICP-MS). Os resultados obtidos mostraram uma assinatura geoquímica idêntica entre as amostras que sofreram combustão e as áreas que contém material de mistura. No entanto quando comparadas com resíduos mineiros não afetados por combustão, denotam um enriquecimento em Fe, Na, S, As, Bi, Sc, Sr, Th, Σ LREE. As amostras afetadas por combustão apresentaram depleção dos elementos Ca, Mn, Hf, Co, Ni, Pb, Mo e Zr quando comparados com as amostras de materiais que não sofreram efeitos pirolíticos. A análise multivariada permitiu

compreender as principais associações elementares existentes, e a análise de componentes principais, salientou uma clara separação em dois grupos, o primeiro compreende as amostras de que foram afetadas por combustão (EA) e amostras que contêm material de mistura (EE), enquanto o segundo grupo é constituído pelas amostras que não sofreram efeitos de combustão (ENA), o que claramente reflete um contraste das suas composições geoquímicas.

Os resultados obtidos foram ainda comparados com os resultados de estudos anteriores (Ribeiro *et al.* 2010a, 2010b, 2011 e 2022), utilizando as concentrações elementares médias de resíduos mineiros depositados em várias escombrelas da BCD, não afetadas por combustão como uma *baseline*, que permitiu relacionar e comparar todas as amostras.

Os resultados evidenciaram que as amostras analisadas no âmbito deste estudo são geoquimicamente idênticas às amostras de escombrelas do Pejão estudadas por Ribeiro *et al.*, (2022). No entanto, salientaram que os resíduos depositados na mina do Fojo sem influência do processo de combustão, possuem uma assinatura geoquímica bastante distinta dos resíduos depositados nas escombrelas de São Pedro da Cova e da Lomba. Esta variação da composição geoquímica destes resíduos pode ser explicada pela própria heterogeneidade associada às diferentes zonas da BCD e aos variados contributos litológicos associados a cada área da bacia sedimentar. As escombrelas de São Pedro da Cova e da Lomba apresentaram uma

concentração de Mg, Mn, Co e Zn, inferior à média dos resíduos depositados, e significativamente inferior à média dos resíduos depositados na escombrela do Fojo. Por outro lado, os rejeitados da escombrela do Fojo, apresentaram os maiores enriquecimentos em Ca, Mg, S, Mn, Co, Cu, Pb e Zn, quando comparados com as restantes escombrelas da BC.

A comparação entre as amostras que sofreram efeitos de combustão em escombrelas de diferentes minas da BCD, permitiu também ressaltar a existência de uma composição geoquímica distinta, em semelhança ao que se verificou no ponto anterior. As concentrações dos principais elementos estudados na escombrela da Fojo, aproximam-se mais da média das concentrações desses elementos na *baseline*, quando comparadas com as concentrações de São Pedro da Cova, Midões e Lomba. No caso de São Pedro da Cova há um enriquecimento muito mais significativo em Cs, Li, Nb, e Ta que pode explicar-se pela variação composicional da BCD, uma vez que esses mesmos elementos surgem mais concentrados nas amostras não afetadas por efeitos pirogênicos estudadas em São Pedro da Cova. Enquanto para as mesmas condições, Midões, apresenta um acréscimo em Na, Nb, Sr, Ta, W e Y, não sendo possível excluir os efeitos associados à variabilidade composicional deste troço da BCD, uma vez que não possuímos dados que permitam definir a composição elementar média das amostras não afetadas por combustão.

Agradecimentos: Trabalho financiado pelo projeto SHS: Soil health surrounding former mining areas: characterization, risk analysis, and intervention, NORTE-45-2020-75 – SISTEMA DE APOIO À INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA – “PROJETOS ESTRUTURADOS DE I&D&I” – HORIZONTE EUROPA, Ref. NORTE-01-0145-FEDER-000056 e enquadrado nas atividades do G13 do ICT (UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020).

Referências

- Pinto de Jesus, A. (2019). Carboniferous Intermontane Basins of Portugal. In: The Geology of Iberia: a geodynamic approach. 1st ed. Oliveira, J., Quesada, C., Eds.; González-Clavijo, E., Alonso, J., Armendáriz, M., Bahamonde, J., Braid, J., Colmenero, J., da Silva, Í. D., Fernandes, P., Fernández, L.. Synorogenic Basins. Springer. Springer Nature Switzerland AG, 2, 402-408.
- Ribeiro, J., Ferreira da Silva, E. & Flores D. (2010a). Burning of coal waste piles from Douro Coalfield (Portugal): Petrological, geochemical and mineralogical characterization. *International Journal of Coal Geology*, 81, 359-372.
- Ribeiro, J., Ferreira da Silva, E., Li, Z., Ward, C. & Flores D. (2010b). Petrographic, mineralogical and geochemical characterization of the Serrinha coal waste pile (Douro Coalfield, Portugal) and the potential environmental impacts on soil, sediments and surface waters. *International Journal of Coal Geology*, 83, 456-466.
- Ribeiro, J., Suárez-Ruiz, I, Flores, D. (2022) Coal related fires in Portugal: New occurrences and new insights on the characterization of thermally affected and non-affected coal waste piles. *Intl J Coal Geol*, 252, 103941.
- Ribeiro, J., Ferreira da Silva, E., de Jesus, A.P., Flores, D. (2022). Petrographic and Geochemical Characterization of Coal Waste Piles from Douro Coalfield (NW Portugal). *Int J Coal Geol* 2011, 87, 226–236

Rare earth elements fractionation in leptosol and fluvisol in an arid region– anthropic impact

Fracção de elementos terras raras em leptosol e fluvisol, numa região árida- impacto antrópico

M. M. V. Silva (1) and P. C. S. Carvalho (2)

(1) Universidade de Coimbra, CITEUC-Centro de Investigação da Terra e do Espaço - Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal mmvsilva@ci.uc.pt

(2) Geobiotec - Geociências, Geoengenharias e Geotecnologias. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

Sumário: A fração de elementos terras raras (ETR) associada à matéria orgânica, minerais de argila, sais solúveis e oxi-hidróxidos de Fe fornece pistas sobre a migração e disponibilidade destes elementos nos solos. Amostras de solos, de uma região árida, com impacto antrópico, foram analisadas para ETR, após extração química parcial, selectiva sequencial. O solo urbano apresenta pseudo-totais significativamente mais baixos, do que o solo agrícola. Os menores teores de ETR extraídos encontram-se na fracção carbonatada e de troca, com excepção do leptossolo calcárico, que apresenta maiores teores de ETR nesta fracção mais móvel. A maior concentração de ETR está na fracção residual, seguindo-se na fracção redutível. Contudo, em algumas amostras de solo agrícola, a maior concentração de ETR está na fracção oxidável, sendo que os ETR estão associados à matéria orgânica neste tipo de solo

Palavras-chave: solo urbano, contaminação, ETR, geoquímica, extração química seletiva sequencial

Key-words: urban soil, contamination, REE, geochemistry, selective sequential extraction

In soils the whole REE concentrations are generally related with the presence of zircon and apatite, but the REE associated with secondary phosphates, organic matter, Fe-oxyhydroxides, clay minerals may give clues to REE availability and migration in the soil profile (Aide, 2018). In soils, the REE levels are a function of parent material, soil texture, mineralogy, organic matter contents, pedogenic processes, which are dependent on weathering and climate conditions, and anthropic influence (Aide 2018). This influence is growing, as many technological products containing REE, are used in agriculture, such as phosphate-fertilizers (Zhou et al., 2020). In urban soils these technological materials influence the migration of water and dissolved elements, being responsible for the dissemination of pollutants.

Benguela is an expanding city, with deficient waste collection systems, triggering the spreading of technological wastes, among others, in almost the entire city. Silva et al. (2020), presented the soil geochemistry and assessment of potential risks in the three type of soils, in the city of Benguela, namely the calcárico leptosol (protocalcic), which has the lowest anthropic influence, the orthofluvic fluvisol (arenic), which is an agricultural soil and in the orthofluvic fluvisol (arenic prothotecnico), which is an urban soil with strong anthropic influence. The REE contents in

these soils are controlled by the parent material, but also by the presence of Fe-oxyhydroxides and secondary phosphates in the fluvisols (Silva et al., 2020).

In this work representative samples of three types of soils were analysed for REE, by ICP-MS, after a sequential extraction procedure, to estimate the mobility of REE in these soils, under different leaching conditions. For the four-stage sequential partial extraction procedure, the samples were leached successively with the follow reagents: Na-acetate+acetic acid solution (exchangeable and carbonate fractions), hydroxylamine solution (reducible fraction), Na-pyrophosphate solution (oxidisable fraction), and, finally with *aqua regia* (residual fraction). The procedure assumes that the REE mobility in soil decreases in the order of extraction.

The sequential extraction method is a useful tool on the geochemistry of soils, as well as in environmental studies and mineral prospecting as it allows the assess of mobility and fractionation of metals in soil, regardless of the lack of selectivity and re-adsorption problems (Mittermüller et al., 2016).

The objectives of this work are to know the chemical fractionation and mobility of REE in these moderately alkaline to heavily alkaline soils, developed in hot,

arid, BWh-type climate, identifying the soil phases in which REEs are preferentially associated and comparing the fractionation and mobility in the three types of soils.

The contents of Tm, Yb and Lu in the Na-acetate leach are below the detection limit in the majority of samples, indicating that these elements are not preferentially bound to the exchangeable and carbonate fractions of the soil samples. For the hydroxylamine leach, REE were measured in all samples, broadly indicating a higher affinity of REE for this soil fraction. This confirms the relation between REE contents and Fe-oxy-hydroxides ($r = 0.84$) presented in Silva et al. (2020).

In all fractions the most abundant REE is Ce, followed by La and Nd, therefore the LREE dominate the REE contents, which is the normal behaviour of REE in the average upper crustal materials (e.g. Kabata-Pendias, 2011). The REE contents in the residual fraction range from 40.0-55.7 mg.kg⁻¹ in the calcaric leptosol, from 26.9-53.0 mg.kg⁻¹ in the prothotecnic fluvisol and from 54.3-72.4 mg.kg⁻¹ in the arenic fluvisol. The arenic prothotecnic fluvisol (urban soil) has significant lower residual contents ($P_{value}=0.008$; $\alpha=0.05$), than the arenic fluvisol (agricultural soil). The Na-acetate has the lowest extracts ranging from 0.23 to 2.09%. Most REE-bearing minerals are phosphates and these minerals are poorly soluble under environmental conditions, therefore the mobilization only occurs on a large scale under acidic conditions (Mittermüller et al., 2016). The pyrophosphate leach has extracts ranging from 0.47 to 3.60 % and the hydroxylamine leach has slightly higher extracts, ranging from 0.88 to 4.06%. In general, the hydroxylamine leach tends to be the strongest leach after the *aqua regia* leach, but, in some samples of the agricultural soil, the pyrophosphate leach extracted more REE than the hydroxylamine. As the pyrophosphate leach preferentially removes the REE associated with organic matter, this behaviour is expected in the

agricultural soils, where organic matter (manure) is added to the soil, being more available to complex/adsorb REE. The chondrite normalized patterns were calculated from La to Er, because many samples have Tm, Yb and Lu below the detection limit. For the Na-acetate leach (Fig. 1a), the REE patterns of the prothotecnic fluvisol (urban soil) and arenic fluvisol (agricultural soil) are similar, with comparable Σ REE, LREE/HREE, negative europium anomalies and positive cerium anomalies but the calcaric leptosol has different pattern, with higher Σ REE and negative Ce anomaly (Fig. 1a), indicating Ce lixiviation from the easily soluble fraction of the soil and higher contents of REE, bond to this fraction. For the hydroxylamine leach the patterns are similar (Fig. 1b), but in the pyrophosphate leach the agricultural soil clearly has a distinct pattern (Fig. 1c), with higher Σ REE and lower LREE/HREE, indicating the control of organic matter in the REE behaviour.

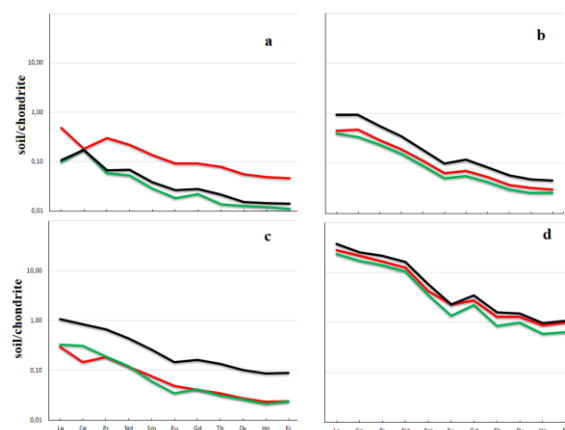


Fig. 1. Averages of chondrite normalized patterns from the four stages of sequential extraction: a) Na-acetate; b) hydroxylamine; c) Na-pyrophosphate; d) aqua regia. Symbols: calcaric leptosol - red line; arenic prothotecnic fluvisol - green line and arenic fluvisol - black line.

References

- Aide, M.T. (2018). Lanthanide Soil Chemistry and Its Importance in Understanding Soil Pathways: Mobility, Plant Uptake, and Soil Health. *In*: N. S. Awwad & A. T. Mubarak (eds.), Lanthanide, 2019, cap 4.
- Kabata-Pendias, A. (2011). Trace Elements in Soils and Plants. Fourth edition, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Mittermüller, M., Saatz, J. & Daus, B. (2016). A sequential extraction procedure to evaluate the mobilization behavior of rare earth elements in soils and tailings materials. *Chemosphere*, 147, 155-162.
- Silva, M.M.V.G., Carvalho, P.C.S., António, A. & Luís, A.C.M. (2020). Geochemistry of leptosols and fluvisols in the fast-growing city of Benguela (Angola) and assessment of potential risks. *Geoderma Regional*, 20, e00257.
- Zhou, W., Han, G., Liu, M., Song, C. & Li, X. (2020). Geochemical Distribution Characteristics of Rare Earth Elements in Different Soil Profiles in Mun River Basin, Northeast Thailand. *Sustainability*12, 457; doi:10.3390/su1

Magmatismo sódico no Complexo Metamórfico da Foz do Douro” (Terreno Finisterra)

Sodium-rich magmatism in the “Foz do Douro Metamorphic Complex” (Finisterra Terrane)

M. Sousa(1), H. Sant’Ovaia (2) e F. Noronha (2)

- (1) Instituto de Ciências da Terra, Pólo-Porto, monica.sousa@fc.up.pt
 (2) Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geociências Ambiente e Ordenamento do Território & Instituto de Ciências da Terra, Pólo-Porto

Summary: *New geochemical studies on the orthogneisses of the “Foz do Douro Metamorphic Complex” allowed the definition of a new lithological series – the sodic series –, consisting of biotite orthogneisses and garnet leucocratic orthogneisses. The biotite orthogneisses derived from infra to basicrustal, magnetite-type biotite granitoids, formed from magmas with a strong mantle contribution. The garnet leucocratic orthogneisses derived from ilmenite-type granites and reveal a genesis in the intermediate crust. The lithologies of this sodic series demonstrate affinities with the “low-Al, high-Y-HREE” TTG series and correspond to magmas formed in the context of subduction and magmatic arc.*

Key words: Foz do Douro Metamorphic Complex, Finisterra Terrane, sodium-rich magmatism

Palavras-chave: Complexo Metamórfico da Foz do Douro, Terreno Finisterra, magmatismo sódico

O Complexo Metamórfico da Foz do Douro (CMFD), situado na orla litoral da cidade do Porto, é considerado como pertencente ao Terreno Finisterra, e está localizado no seu limite norte. O CMFD está subdividido em duas unidades tectono-estratigráficas distintas (e.g. Chaminé *et al.* 2003): a “Unidade de Gnaisses da Foz do Douro” (UGFD) e a “Unidade de Lordelo do Ouro” (ULO). Esta última, intruída pela UGFD, constitui uma estreita faixa de rochas de natureza metassedimentar (micaxistos e paragneisses silimaníticos) muito dobradas, de idade Proterozoica, que correspondem a argilitos e grauvaques finos ricos em potássio (Sousa 2022).

Na UGFD individualizam-se ortogneisses de diferentes tipos, a que se associam anfibolitos de afinidade N-MORB (Sousa 2022 e *referências inclusas*). Por sua vez, o CMFD é cortado por granitos biotíticos tardi-tectónicos com 298 ± 11 Ma (Martins *et al.* 2011; Sousa 2022) cuja instalação foi controlada pelo Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo (CPTFA) (Sousa 2022 e *referências inclusas*).

Estudos geoquímicos anteriores em ortogneisses do CMFD demonstraram a ocorrência de magmatismo de carácter calco-alcalino, sugerindo um enquadramento geodinâmico do tipo margem continental ativa (subducção – colisão) (e.g. Noronha & Leterrier 2000). Novos dados geoquímicos permitiram agrupar estas rochas ortoderivadas em duas séries litológicas com composições e tendências

geoquímicas distintas (Sousa 2022): *i*) série sódica e *ii*) série potássica.

Nesta contribuição iremos destacar os ortogneisses da série sódica, constituída por ortogneisses biotíticos (GB), derivados de granitoides do tipo “magnetite type” e ortogneisses leucocratas granatíferos (GG), derivados de granitoides do tipo “ilmenite type” (Sousa 2022). Embora estas duas litologias se encontrem associadas, as relações de campo permitem indicar que os GG são posteriores aos GB. Estas rochas têm uma composição tonalítica-trondjemítica–granodiorítica, de carácter, fundamentalmente, magnésiano e moderadamente peraluminoso. São ricas em CaO (GB: 1,9-3,5 wt.%; GG: 1,1-2,1 wt.%) com uma razão $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 2$ (Sousa 2022) e afinidade com a linha de tendência sódica (ou thronjemítica; Barker & Arth 1976; Fig. 1). Alguns dos GG evidenciam uma diferenciação composicional, apresentando um enriquecimento em K_2O (Fig. 1). Os ortogneisses desta série, apresentam, ainda, conteúdo em $\text{Al}_2\text{O}_3 < 15$ wt.%, Y-HREE elevado (GB: $\text{Y} = 8,0-25,5$ ppm e $\text{Yb} = 0,91-3,71$ ppm; GG: $\text{Y} = 18,3-33,2$ ppm e $\text{Yb} = 1,83-3,35$ ppm), razões Sr/Y (GB: 4,5-16; GG: 2,1-6,3) e $(\text{La}/\text{Yb})_N$ (GB: 2,3-14,4; GG: 3,0-5,5) predominantemente baixas, anomalia (positiva ou negativa) ou ausência de anomalia do Eu (GB: $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,8-1,5$; GG: $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,5-1,2$) e um perfil de terras raras pouco fracionado [GN: $(\text{La}/\text{Lu})_N = 2,0-4,4$; GG: $(\text{La}/\text{Lu})_N = 2,8-5,8$] (Sousa 2022). A série sódica do CMFD demonstra, assim, afinidades com a série “low-

Al, high-Y-HREE” TTG (Sousa 2022 e referências inclusas) e a sua génese pode ser atribuída à fusão em níveis crustais de litologias máficas com baixo conteúdo em K (Fig. 2), no campo de estabilidade da plagioclase e com um resíduo pobre ou sem granada (Rogers & Callahan 1989). Alguns GG evidenciam, no entanto, uma fonte tonalítica (Fig. 2), que poderá indicar mistura de magmas ou constituir

diferenciados dos GB, quer por cristalização fracionada, por assimilação de material crustal ou fusão parcial. O carácter magnésiano e as restantes características geoquímicas destas rochas sugerem que os magmas que lhes deram origem se formaram num contexto de subducção e de arco magmático (Sousa 2022 e referências inclusas).

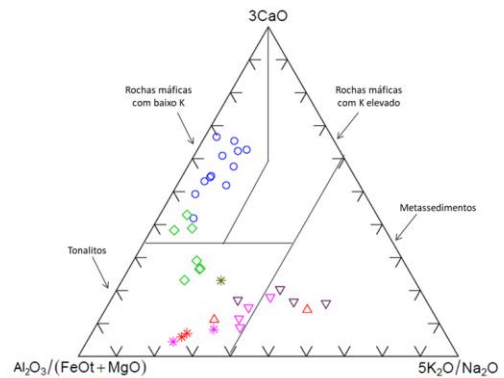
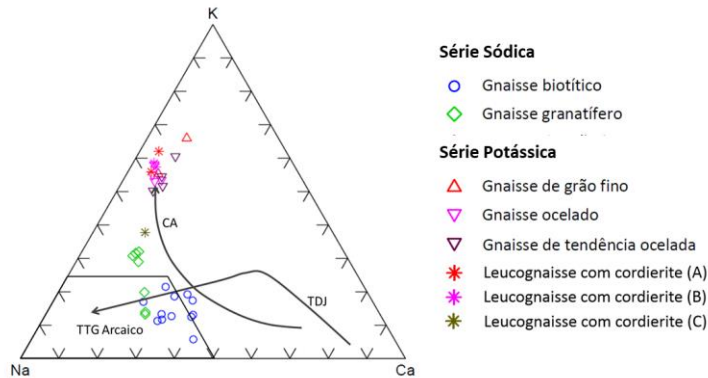


Fig. 1. Diagrama K-Na-Ca de Barker & Arth (1976) com representação das linhas de tendências calco-alcalina (CA) de Nockolds & Allen (1953) e trondjemítica (TDJ) e do campo da série TTG do Arcaico definidos por Barker & Arth (1976). Representa-se a série potássica para comparação.

Fig. 2. Diagrama ternário $Al_2O_3/(FeOt + MgO)$; $3*CaO$; $5*(K_2O/Na_2O)$ (Laurent et al. 2014) para as rochas gnaissicas do CMFD. Representa-se a série potássica para comparação.

Agradecimentos: A primeira autora beneficiou de uma Bolsa de Doutoramento financiada pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (SFRH/BD/47891/2008). Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projectos Ref^{as} UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Barker, F. & Arth, J.G. (1976). Generation of Trondhjemitic-Tonalitic Liquids and Archean Bimodal Trondhjemite-Basalt Suites. *Geology*, 4(10), 596–600.
- Chaminé, H. I., Gama Pereira, L. C., Fonseca, P. E., Noronha, F. & Lemos de Sousa, M. J. (2003). Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto – Albergaria-a-velha – Coimbra – Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cadernos Laboratório Xeológico de Laxe*, Coruña, 28, 37–78. ISSN: 0213-4497.
- Laurent, O., Martin, H., Moyen, J.-F. & Doucelance, R. (2014). The diversity and evolution of late-Archean granitoids: Evidence for the onset of “modern-style” plate tectonics between 3.0 and 2.5Ga. *Lithos*, 205, 208–235.
- Martins, H. C. B., Sant’Ovaia, H., Abreu, J., Oliveira, M. & Noronha, F. (2011). Emplacement of the Lavadores granite (NW Portugal): U/Pb and AMS results. *Comptes Rendus Geoscience*, 343(6), 387–396.
- Nockolds, S.R. & Allen, R. (1953). The geochemistry of some igneous rock series. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 4(3), 105–142, ISSN 0016-7037.
- Noronha F. & Leterrier, J. (2000). Complexo Metamórfico da Foz do Douro (Porto). *Geoquímica e Geocronologia. Revista Real Academia Galega de Ciências*, XIV, 21–42.
- Rogers, J.J.W. & Callahan, E.J. (1989). Diapiric trondhjemites of the western Dharwar craton, southern India. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26(2), 244–256.
- Sousa, M. (2022). Complexo Metamórfico da Foz do Douro: contribuição para o estudo da evolução geotectónica do NW Peninsular. Tese de Doutoramento.

Assinatura geoquímica e proveniência dos paragneisses silimaníticos do “Complexo Metamórfico da Foz do Douro” (Terreno Finisterra)

Geochemical signature and provenance of “Foz do Douro Metamorphic Complex” sillimanite paragneisses (Finisterra Terrane)

M. Sousa(1), H. Sant’Ovaia (2) e F. Noronha (2)

(1) Instituto de Ciências da Terra, Pólo-Porto, monica.sousa@fc.up.pt

(2) Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geociências Ambiente e Ordenamento do Território & Instituto de Ciências da Terra, Pólo-Porto

Summary: *The “Foz do Douro Metamorphic Complex” paragneisses are striped, fine to medium grained melanocratic rocks that show ductile deformation, expressed by significant asymmetric folding and stretching. Originally, they corresponded to K-rich claystones and fine graywackes deposited far from the source. The geochemical characteristics suggest a differentiated source for the paragneisses protolith, similar to the sources of K-rich granites, granodiorites or other felsic igneous rocks produced by intracrustal melting, although they may also derive from mixed sources.*

Key words: *Foz do Douro Metamorphic Complex, Finisterra Terrane, sillimanite paragneisses*

Palavras-chave: *Complexo Metamórfico da Foz do Douro, Terreno Finisterra, paragneisses silimaníticos*

O Complexo Metamórfico da Foz do Douro (CMFD), situado na orla litoral da cidade do Porto, é interpretado como pertencente ao Terreno Finisterra, estando localizado no seu limite norte. Encontra-se subdividido em duas unidades tectono-estratigráficas distintas (e.g. Chaminé *et al.* 2003a): a “Unidade de Gnaisses da Foz do Douro” (UGFD) e a “Unidade de Lordelo do Ouro” (ULO). A UGFD, intrusiva na ULO, é constituída por ortogneisses de diferentes tipos, agrupados em duas séries litológicas com composições e tendências geoquímicas distintas (Sousa 2022). A ULO constitui uma estreita faixa de rochas de natureza metassedimentar (micaxistos e paragneisses silimaníticos) muito dobradas, de idade Proterozoica, que evidenciam metamorfismo na zona da sillimanite (Sousa 2022) e foram equiparadas por Chaminé *et al.* (2003b) à unidade parautóctone basal do sector de Espinho – Albergaria-a-Velha. As duas unidades tectono-estratigráficas estão cortadas por granitos biotíticos tardi-variscos e evidenciam deformação induzida pelo Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo (CPTFA), que também controlou a instalação dos granitos biotíticos (Sousa 2022 e referências inclusas).

Esta contribuição incide sobre a assinatura geoquímica e possível proveniência dos sedimentos que constituem os paragneisses silimaníticos da ULO. Estes paragneisses são rochas melanocratas, de grão fino a médio, recortadas por leitões quartzo-

feldspáticos que lhes conferem um aspeto listrado. Evidenciam deformação dúctil, traduzida por dobramentos assimétricos expressivos e estiramentos. O bandado composicional é constituído por domínios ricos em quartzo e feldspato e domínios ricos em filossilicatos, fibrolite (e rara sillimanite), cordierite e hercinite (Sousa 2022). Apresentam uma composição compatível com protólitos sedimentares de carácter pelítico, nomeadamente, argilitos e psamitos finos ricos em potássio (Fig. 1) com clastos que teriam sido depositados a grande distância da fonte, tal como indicam os valores baixo a intermédio da razão Fe_2O_3/K_2O (Fig. 1). Estas rochas evidenciam perfis de terras raras (TR) similares aos de vários argilitos de referência, de idade pós-Arcaica, bem como ao perfil de TR da Crosta Continental Superior (CCS), caracterizados pela anomalia negativa em Eu, o enriquecimento em TR leves em relação às TR pesadas e padrões de TR pesadas planos (Fig. 2). Estas características sugerem que os paragneisses resultaram do metamorfismo de sedimentos com uma composição idêntica à de protólitos de granitos ricos em K, granodioritos ou outras rochas ígneas félsicas, produzidas por fusão intracrustal (Sousa 2022 e referências inclusas), corroborada pela projeção das amostras no diagrama La/Th vs Hf (Fig. 3). No entanto, estas rochas metassedimentares apresentam, igualmente, afinidade com fontes de diversas tipologias (máficas a intermédias, vulcânicas félsicas e metabásicas ou mistas; Sousa 2022). Os

resultados aparentemente contraditórios relativos às rochas fonte destes paragneisses podem ser atribuídos a modificações ocorridas durante o metamorfismo orogénico ou à presença de fontes mistas para a génese do protólito sedimentar dos paragneisses (Sousa 2022).

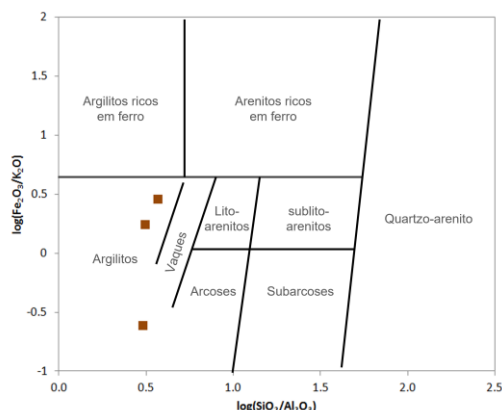


Fig. 1. Classificação dos paragneisses do CMFD através do diagrama: $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ vs $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ (Herron 1988).

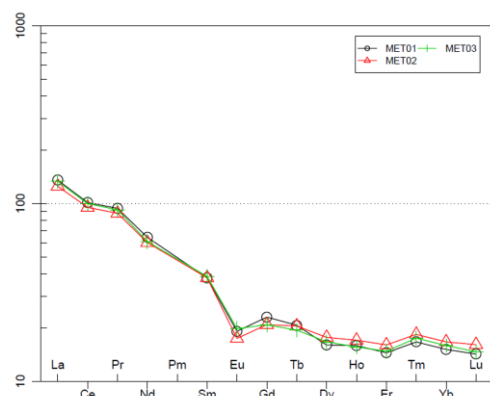


Fig. 2. Diagrama REE normalizado ao condrito (Nakamura 1974) para os paragneisses do CMFD.

Agradecimentos: A primeira autora beneficiou de uma Bolsa de Doutoramento financiada pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (SFRH/BD/47891/2008). Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projectos Ref^{as} UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Chaminé, H. I., Gama Pereira, L. C., Fonseca, P. E., Noronha, F. & Lemos de Sousa, M. J. (2003a). Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto – Albergaria-a-velha – Coimbra – Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cadernos Laboratório Xeológico de Laxe*, Coruña, 28, 37–78. ISSN: 0213-4497.
- Chaminé, H. I., Fonseca, P. E., Monteiro, J., Borges, F. S., & Munhá, J. M. (2003b). Pseudotaquilitos e ultramilonitos associados a faixas de cisalhamento no Maciço Ibérico (Portugal): implicações para a geotectónica e a paleo-sismicidade Varisca. *Cadernos Laboratório Xeológico de Laxe*, Coruña, 28, 9–35. ISSN: 0213-4497.
- Herron, M.M. (1988). Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Research*, 58(5), 820–829.
- Nakamura, N. (1974). Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38(5), 757–775.
- Sousa, M. (2022). Complexo Metamórfico da Foz do Douro: contribuição para o estudo da evolução geotectónica do NW Peninsular. Tese de Doutotamento.

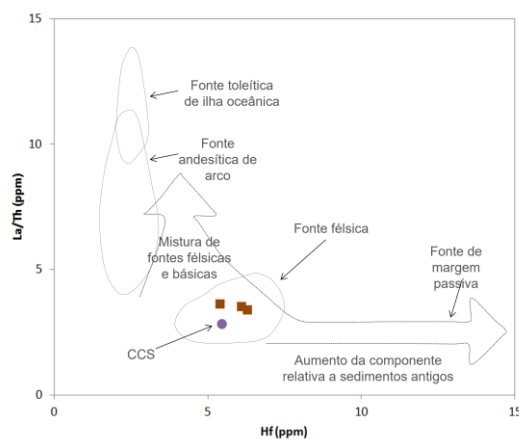


Fig. 3. Diagrama discriminante La/Th vs Hf para os paragneisses do CMFD (Sousa 2022 e referências incluídas); CCS: Crosta Continental Superior.

Caracterização dos ortognaisses de uma série potássica no Complexo Metamórfico da Foz do Douro” (Terreno Finisterra)

Characterization of potassium-rich orthogneisses from “Foz do Douro Metamorphic Complex” (Finisterra Terrane)

M. Sousa (1), H. Sant’Ovaia (2) e F. Noronha (2)

(1) Instituto de Ciências da Terra, Pólo-Porto, monica.sousa@fc.up.pt

(2) Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geociências Ambiente e Ordenamento do Território & Instituto de Ciências da Terra, Pólo-Porto

Summary: *New geochemical studies on the orthogneisses of the “Foz do Douro Metamorphic Complex” allowed the definition of a new lithological series – the potassic series –, consisting of augen and augen-like leucocratic orthogneisses, fine grained orthogneisses and cordierite leucogneisses. These rocks represent crustal melts generated in compressive tectonic environments.*

Key words: *Foz do Douro Metamorphic Complex, orthogneisses, potassium-rich magmatism*

Palavras-chave: Complexo Metamórfico da Foz do Douro, ortognaisses, magmatismo potássico

A geologia da faixa litoral da cidade do Porto é dominada pela presença de rochas metamórficas, que constituem o “Complexo Metamórfico da Foz do Douro” (CMFD), intruídas por granitos biotíticos tardi-variscos com 298 ± 11 Ma (Martins *et al.* 2011), estes últimos muito bem representados na Praia da Sra. da Luz e no Castelo do Queijo. Ao longo de uma série de pequenas praias, distinguem-se magníficos afloramentos de rochas metassedimentares (micaxistos e paragnaisses silimaníticos), pertencentes à “Unidade de Lordelo do Ouro” (*e.g.* Chaminé *et al.* 2003). Estas rochas, de idade Proterozoica, estão muito deformadas, e são argilitos e grauvaques finos ricos em potássio, especialmente associadas a ortognaisses de diferentes tipos e a anfíbolitos de afinidade N-MORB) da “Unidade de Gnaisses da Foz do Douro” (Chaminé *et al.* 2003, Sousa 2022).

As rochas do CMFD foram profundamente afetadas pelo Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo (CPTFA), que controlou também a instalação dos granitos biotíticos (Sousa 2022 e *referências inclusas*). Estudos geoquímicos anteriores em ortognaisses do CMFD demonstraram a ocorrência de magmatismo de carácter calco-alcalino, sugerindo um enquadramento geodinâmico do tipo margem continental ativa (subducção – colisão) (Noronha & Leterrier 2000). Novos dados geoquímicos permitiram, contudo, agrupar estas rochas orto-derivadas em duas séries litológicas com composições e tendências geoquímicas distintas: *i)* série sódica e *ii)* série potássica. (Sousa 2022)

Esta contribuição incide sobre os ortognaisses da **série potássica**, que é constituída por ortognaisses leucocratas ocelados e de tendência ocelada (GOc), ortognaisses leucocratas de grão fino (GF) e leucogneisses com cordierite (LGC), todos derivados de granitoides do tipo “*ilménite type*”. Estas rochas evidenciam afinidade com a série calco-alcalina de Nockolds & Allen (1953), correspondendo aos termos mais potássicos dessa série (Fig. 1), e apresentam carácter peraluminoso e uma razão $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} < 2$ (Sousa 2022).

Os GOc são rochas de composição granítica a monzogranítica Apresentam conteúdos baixos em CaO (0,6-1,0 wt.%) e em Sr (48-61 ppm), e intermédios de Y (10-17 ppm) e Yb (0,9-1,4 ppm). A razão Sr/Y é baixa (2,9-5,2) e a razão $(\text{La}/\text{Yb})_N$ intermédia (8,3-14,1). Apresentam Y-HREE intermédio e anomalia negativa do Eu ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,4-0,7$). Estes granitos terão sido gerados por fusão de litologias crustais mistas (tonalíticas e metassedimentares) mais antigas (Fig. 2).

Os GF são rochas de composição granítica Apresentam elevado conteúdo em K_2O (4,8-6,1 wt.%), baixo conteúdo em CaO (0,8-1,1 wt.%), Y (6,5-7,0 ppm) e Yb (0,49-0,60 ppm), uma razão $(\text{La}/\text{Yb})_N$ intermédia a elevada (11,2-56,9) e Y-HREE baixo. Não apresentam anomalia de Eu ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,8-1,0$) e o perfil de REE é muito fracionado (Sousa 2022 e *referências inclusas*). Estes granitos, tal como os GOs, apresentam um carácter híbrido podendo ter-se formado por fusão, a partir de litologias de composição tonalítica e metassedimentar mais antigas (Fig. 2; Sousa 2022).

Os LGC são rochas de composição granítico-granodiorítica. Apresentam baixo conteúdo em CaO (0,6-1,0 wt.%) e conteúdo variável em Sr (30-122 ppm), Y (3,0-18,6 ppm) e Yb (0,3-1,8 ppm). O conteúdo em Y-HREE é baixo a intermédio e apresentam anomalia variável do Eu ($Eu/Eu^*=0,7-$

7,5). Estas rochas terão sido geradas a partir de litologias de composição tonalítica (Fig. 2).

As rochas da série potássica podem, assim, representar *melts* crustais gerados em ambientes tectónicos compressivos.

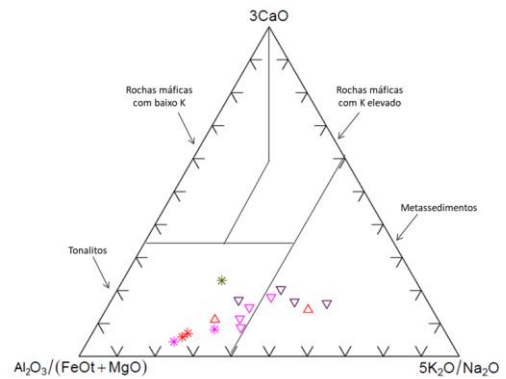
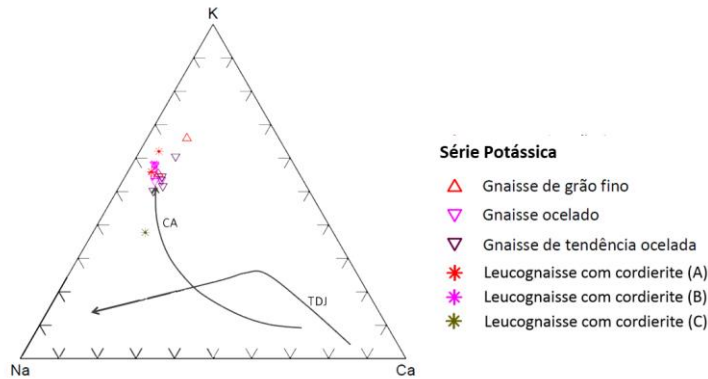


Fig. 1. Diagrama K-Na-Ca de Barker & Arth (1976) com representação das linhas de tendências calco-alcalina (CA) de Nockolds & Allen (1953) e trondjemítica (TDJ).

Fig. 2. Diagrama ternário $Al_2O_3/(FeOt + MgO)$; $3*CaO$; $5*(K_2O/Na_2O)$ (Laurent et al. 2014) para os ortognais da série potássica do CMFD.

Agradecimentos: A primeira autora beneficiou de uma Bolsa de Doutoramento financiada pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (SFRH/BD/47891/2008). Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projectos Ref^{as} UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Barker, F. & Arth, J.G. (1976). Generation of Trondhjemitic-Tonalitic Liquids and Archean Bimodal Trondhjemitic-Basalt Suites. *Geology*, 4(10), 596–600.
- Chaminé, H. I., Gama Pereira, L. C., Fonseca, P. E., Noronha, F. & Lemos de Sousa, M. J. (2003). Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto – Albergaria-a-velha – Coimbra – Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cadernos Laboratório Xeológico de Laxe*, Coruña, 28, 37–78. ISSN: 0213-4497.
- Laurent, O., Martin, H., Moyen, J.-F. & Doucelance, R. (2014). The diversity and evolution of late-Archean granitoids: Evidence for the onset of “modern-style” plate tectonics between 3.0 and 2.5Ga. *Lithos*, 205, 208–235.
- Martins, H. C. B., Sant’Ovaia, H., Abreu, J., Oliveira, M. & Noronha, F. (2011). Emplacement of the Lavadores granite (NW Portugal): U/Pb and AMS results. *Comptes Rendus Geoscience*, 343(6), 387–396.
- Nockolds, S.R. & Allen, R. (1953). The geochemistry of some igneous rock series. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 4(3), 105–142, ISSN 0016-7037.
- Noronha F. & Leterrier, J. (2000). Complexo Metamórfico da Foz do Douro (Porto). *Geoquímica e Geocronologia. Revista Real Academia Galega de Ciências*, XIV, 21–42.
- Sousa, M. (2022). Complexo Metamórfico da Foz do Douro: contribuição para o estudo da evolução geotectónica do NW Peninsular. Tese de Doutoramento.

Effects of application of eucalyptus leaf biomass on soil quality: a field trial

Efeitos da aplicação de biomassa foliar de eucalipto na qualidade do solo: ensaio de campo

T. Teixeira (1), P. Pato (1), A. Cachada (2,3) and C. Patinha (1)

- (1) Geobiotec & Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, tiagofmteixeira@pt
- (2) Departamento de Biologia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto
- (3) CIIMAR-UP, Matosinhos

Sumário: *Aproximadamente 30% da área florestal portuguesa é ocupada por eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Sendo esta uma espécie invasora e altamente inflamável, é extremamente importante controlar a sua proliferação. Neste sentido, o projeto PEST(bio)CIDE, baseado numa perspetiva de economia circular, visa explorar o potencial fitotóxico das folhas de eucalipto e utilizar a sua biomassa foliar como um biocida eficaz e ambientalmente seguro. Desta forma, é possível associar um benefício económico a uma melhor gestão das áreas de eucalipto regeneradas após o incêndio. Espera-se também que a introdução de biomassa no solo melhore a sua qualidade e eficácia no aumento das reservas de carbono e da fertilidade do solo. Para este efeito, foi realizado um ensaio de campo para testar o efeito da aplicação de biomassa foliar de eucalipto como biocida nas propriedades físicas e químicas do solo.*

Palavras-chave: *Eucalyptus globulus, capacidade biocida, propriedades físico-químicas.*

Key words: *Eucalyptus globulus, biocidal capacity, physicochemical properties.*

Introduction

Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) has a marked growth in the Portuguese forest area, not only due to invasive nature, but also to its economic interest. However, eucalyptus is considered very flammable, which increases the risk of fire, making it essential to control its proliferation. Indeed, the intrinsic characteristics of eucalyptus result not only in rapid repopulation in burnt land, but also in its dispersal to other areas. In this sense, the PEST(bio)CIDE project aims, through the valorization of eucalyptus leaf biomass, to offer a response for a better management of eucalyptus areas regenerated after a forest fire.

Previous studies indicate that there is a phytotoxic potential of eucalyptus leaves, since compounds involved in tolerance against insects and pathogens (Batish et al, 2008) have also shown herbicidal capacity against target species (Oerke, 2006). Thus, the PEST(bio)CIDE project proposes, in a circular economy perspective, the use of eucalyptus leaf biomass as an effective and environmentally safe biocide. It is also expected that the incorporation of eucalyptus leaves into the soil may bring benefits for soil quality and contribute to carbon sequestration. Thus, this work aims to assess the effects of the incorporation of eucalyptus leaf biomass in some

physical and chemical properties of the soil, at real environmental conditions.

Materials and methods

A field trial was set up in the Campus of Vairão of the Faculty of Sciences of the University of Porto. Initially, the soil (humic cambisol) was collected in order to characterize it before any intervention. The leaves of young eucalyptus were collected in the North of Portugal, dried at 60 °C, fragmented and sieved at 4mm. After ploughing and preparing the soil (June 2022), the area was divided into 30 squares of equal dimensions (50x50 cm) and ten replicates of three different treatments were applied in a random way: 5% m/m of eucalyptus (E); the pre-emergence herbicide S-metalochlor (H); and control (CTL). After one month (July-2022) maize was sown and in October-2022 it was collected.

Soil samples were collected from five squares of each treatment, at three different periods: one month after the beginning of the trial, when the maize was sown (July); one month and a half after the beginning of the trial (September); and when the maize was collected (October). The collected soils were dried and sieved at 2 mm for the following physicochemical analyses: water holding capacity (according to ISO 17512-1:2008 protocol); pH (1:5 v/v suspension in water and KCl according to ISO 10390:2020); electrical conductivity (measured in the 1:5 v/v

suspension after 24h); organic matter contents through the loss-of-ignition method. The available Mg, K, Ca, Na and P contents were also determined using the Mehlich 3 extraction procedure and determination by AAS or colorimetric method.

Results and discussion

Results obtained until now showed that the addition of eucalyptus biomass does not seem to strongly affect the studied soil properties. When analyzing the water holding capacity (WHC) results it is found that they present identical values between treatments in the first sampling campaign ($H=35.2\pm 1.6\%$; $E=35.8\pm 2.4\%$; $CTL=34.4\pm 2.3\%$), and this tendency was maintained over time.

With regard to pH, when analyzing Fig. 1 it can be observed that the samples from the different treatments showed very identical mean values for the three sampling periods. Thus, apparently this parameter is not affected by either the application of the herbicide or the application of eucalyptus biomass to the soil. The electrical conductivity (EC), a measure of the quantity of soluble salts in the soil, was higher in the eucalyptus (E) treatment when comparing with the other two, and this tendency was maintained over time. It was observed a decrease in the EC with time, in the plots treated with herbicide and eucalyptus, being this decrease more evident in the squares where the latter was applied.

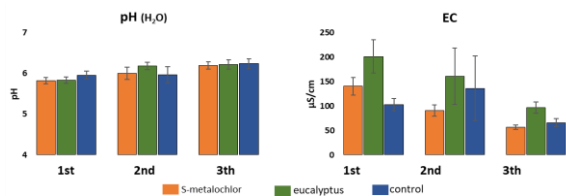


Fig. 1. Mean values of pH and EC in the different trials performed.

The effect of adding eucalyptus on the availability of macronutrients was also evaluated, the Fig.2 shows the variation of these elements over time. In general, Mg and Ca show similar behaviour, with an increase in their content essentially in the eucalyptus

treatment, although for Mg there seems to be a more evident difference between this treatment and the others. Potassium (K) in the first sampling campaign shows higher labels in the treatment with eucalyptus, when compared with the other treatments, however, over time the values tend to be more similar. Throughout the different trials, P seems to present constant average contents.

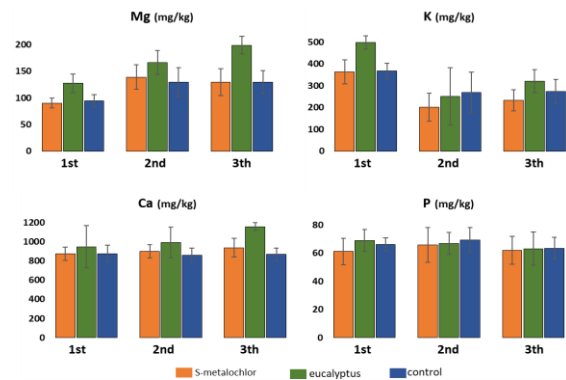


Fig. 2. Available concentrations of Mg, Ca, K and P in the different treatments and different sampling campaign.

Conclusions

Considering the significant growth of eucalyptus in the occupation of Portuguese forest area, and also given the fact that it is an invasive and very inflammable species, it is important to control its proliferation. This control, namely through the use of eucalyptus leaves as a herbicide against target species, is being assessed in the Pest(bio)Cide project. The incorporation of leaf biomass in the soil seems to have an influence on some of the physicochemical properties of the soil, as shown by the preliminary results presented in this work. However, in order to conclude whether these changes are beneficial or not for soils, it will be necessary to integrate other physicochemical parameters that are being determined.

Acknowledgements: This work was funded by FCT/MCTES through: the project PCIF/GVB/0150/2018; the strategic fundings UIDB/04423/2020 and UIDP/04423/2020 (CIIMAR) and UID/GEO/04035/2020 (GEOBIOTEC); and individual funding to T. Teixeira (BI/UI95/9864/2021) and A. Cachada (CIND/00058/2017).

References:

- Daizy, B., Harminder, S., Ravinder, K. & Shalinder, K. (2008). Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*. Volume 256, Issue 12.
- OERKE, E. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31-43.

The Identification of Chromite Mineralization through the Application of Univariate and Multivariate Statistical Analysis on Stream Sediments Geochemistry Data in Maquelab, Oecusse (Timor-Leste)

A Identificação de Mineralizações de Cromite através da Aplicação da Análise Estatística Univariada e Multivariada de Geoquímica de Sedimentos de linhas de água em Maquelab, Oecusse (Timor-Leste)

V. Vicente (1,6), J. Pratas (2,4,6), F. Santos (1), M. Silva (2,5), P. Favas (3,4) and L. Conde (2)

(1) Instituto do Petróleo e Geologia (IPG), Dili, Timor-Leste. videsousa10@gmail.com

(2) University of Coimbra, Faculty of Sciences and Technology, Department of Earth Sciences, 3030-790, Coimbra, Portugal

(3) University of Trás-os-Montes e Alto Douro, UTAD, School of Life Sciences and the Environment, Department of Geology, Quinta de Prados, 5000-801, Vila Real, Portugal

(4) MARE – Marine and Environmental Sciences Centre, Faculty of Sciences and Technology, University of Coimbra, 3004-517, Coimbra, Portugal

(5) Centre for Earth and Space Research of the University of Coimbra (CITEUC), Portugal

(6) Geosciences Centre, University of Coimbra, Rua Sílvio Lima S/n, 3030-790 Coimbra, Portugal

Sumário: De modo a definir as diferentes características litológicas e a possível existência de mineralizações associadas, foi feita uma campanha de amostragem de sedimentos de linhas de água na área de Maquelab (enclave de Oecusse, Timor-Leste). Os resultados geoquímicos das amostras mostraram concentrações anómalas em Cr, Ni e Co, contrariamente ao esperado com base na cartografia geológica existente. No tratamento dos dados utilizou-se a análise em componentes principais (PCA), permitindo observar diferentes grupos composicionais e a identificação das bacias hidrográficas que os representavam. Com base nestes resultados, foi feito um reconhecimento geológico da área, permitindo a descoberta de um novo complexo ultramáfico, desconhecido até ao momento, e constituído por dunitos, peridotitos e serpentinitos. Este complexo chamou-se de “Complexo de Maquelab”, devido à sua proximidade a esta povoação. Dentro das rochas peridotíticas, também foram encontrados pequenos blocos de cromite maciça contendo cerca de 56% de Cr₂O₃.

Palavras-chave: Sedimentos de linhas de água, geoquímica, ultramáfica, cromita, Oecusse

Key words: Stream sediment, geochemistry, ultramafic, chromite, Oecusse

1 Introduction: This research aims to apply different statistical analysis methods to stream sediment geochemistry data in order to characterize the lithological conditions of the research area, which has a complex geological setting, and identify possible associated mineralization. The study area is located in the Maquelab area, situated in the northern part of Oecusse Municipality, Timor-Leste. Maquelab is approximately 12 km from the main town and around 200 km from Dili Capital City.

2 Materials and Method: The research area consists of the Bobonaro Complex, the Manamas Formation and the Viqueque Formation. Next to the sea are deposits of marine sands and recent river alluvial deposits in the terminal part of the main rivers. A total of 36 stream sediment samples were collected from 1st and 2nd order streams at an average sampling density of one sample per about 3 km². The <80 mesh fraction was sent to Activation Laboratories

(Ancaster, Canada) for chemical analysis, performed using Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) in the total sample and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) by 4-acid (HCl-HNO₃-HClO₄-HF) near total acid digestion.

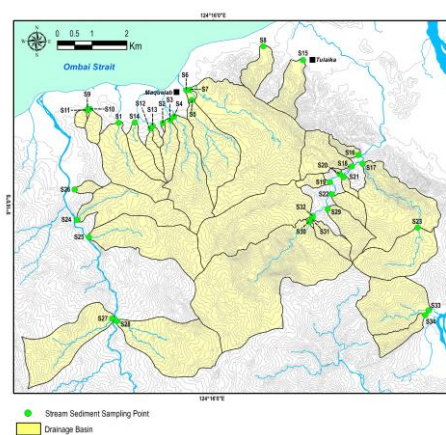


Fig. 1 Sampling Points

The software JMP Pro 14.0 was used for both conventional univariate and multivariate statistical analyses. The estimation of threshold levels was carried out using the median and Tukey's box plot. To evaluate the associations between textural and compositional parameters, correlations based on PCA were performed. Prior to PCA, a centered log-ratio (CLR) transformation was applied to the data.

3 Result and Discussion: The univariate analysis shows that Co, Cr, Mg, and Ni have extremely high values when compared to the Clark values for the upper crust (Wedepohl, 1995). This suggests the presence of ultramafic rocks, which is contrary to what the geological map indicates. Therefore, a PCA was applied to the data after a CLR transformation to evaluate the associations between textural and compositional parameters symmetrically. The PCA analysis indicates that the first principal component showed 42.7% of the total explanation and was composed of Cr, Ni, Se, Nb, Co, Mg, Ti, S, and Zn that were positively associated, consistent with the characteristics of ultramafic rocks. Plotting the first two principal components for variables and samples indicates the separation of samples S4, S5, S6, S7, S11, and S26 from other samples. These samples indicate a basin of ultramafic rocks with strong affinity between Cr, Ni, and Se (Fig. 2).

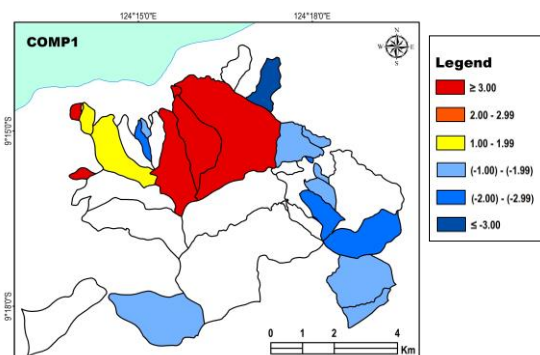


Fig. 2 Map of Comp1 represent affinity with ultramafic rocks.

To differentiate basins where ultramafic rocks are not expected to occur from those that may have some level of contamination, a PCA was conducted. This involved considering the elements that are fundamentally characteristic of this type of lithologic environment as the main variables.

Based on the results of the PCA, two groups were identified: one in opposition to the ultramafic

characteristics (samples S12, S13, S14, S15, S23, S28, S33, and S34) and another whose influence still manifests itself in a notable mafic or ultramafic character (samples S1, S2, S3, S8, S9, S10, S19, S24, S27, S30, S31, and S32). In order to verify these new approaches, geological recognition was conducted, supported by the above discussion. The ultramafic rocks have an extensive area and are composed of serpentinized peridotites, dunite, and serpentinite. Small boulders of chromite were found next to a path that cuts through the peridotites. The results of the PCA, which focuses on the ultramafic rocks where the first principal component axis is positively related, show that the hosted rocks of the chromite mineral deposits are almost exclusively ultramafic rocks. For the mineral exploration objectives, the valuation of this first principal component is closely related to the possibility of finding chromite mineralizations within the representative sample basin.

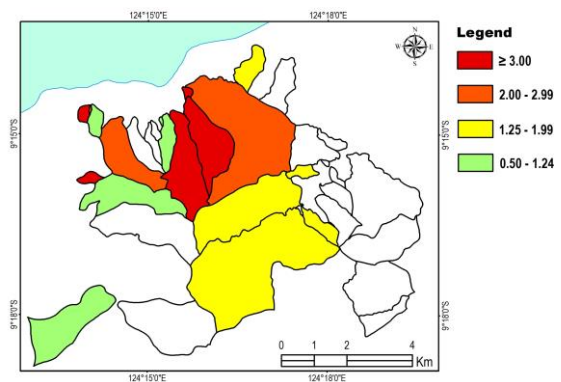


Fig. 3 Plot mapping of chromite high value areas based on the first axis of the PCA for Co, Cr, Mg and Ni.

Fig. 3 shows the potential areas for the occurrence of these mineral deposits. Thus, areas of greater intensity have a greater dominance of ultramafic rocks and/or this type of mineralization, while basins with the lowest values may indicate mixed basins.

Conclusion: Stream sediment geochemistry has proven to be an important tool in verifying and reformulating geological maps of virgin areas with difficult access and limited geological information. Additionally, it has helped to identify new mineral occurrences and played a decisive role in the discovery of the new ultramafic rock complex and chromite podiform in this area.

Acknowledgment: This research has been made possible through funding and support provided by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) and the Instituto do Petróleo e Geologia de Timor-Leste.

Reference

Wedepohl, K.H., (1995). The composition of the continental crust. *Geochem. Cosmochim. Acta* 59 (7), 1217–1232. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00038-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00038-2).

A avaliação geoquímica na perícia ambiental

Geochemical evaluation in environmental forensics

E. Zuben (1, 2), P. Caetano (3) e C. Costa (1)

(1) eGiamb - Consultoria Geoambiental, Lda., Caparica, Portugal, erika.vzuben@gmail.com

(2) FCT NOVA, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal

(3) Geobiotec-Pólo NOVA, FCT NOVA, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal

Summary: *The management of contaminated sites aims, essentially, to eliminate any risks that can arise to human health. The behaviour of contaminants is also controlled by the configuration of the lithologies, being necessary the geological characterization to establish a conceptual geological model, subsidizing the actions of investigation and future remediation.*

Key words: *management of contaminated sites, investigation, geochemical, human health*

Palavras-chave: gestão sítos contaminados, investigação, geoquímica, saúde humana

As questões relativas aos danos ambientais e os meios para mitigá-las, ocupam atualmente um papel relevante no meio científico e jurídico mundial. Não por outra razão, senão pelo facto de que o meio ambiente é essencial à existência dos seres vivos e os bens ambientais como o ar, o solo e a água, são quem criam condições para a existência de vida.

É ante esse cenário que a perícia ambiental é uma ciência que integra informações químicas, geológicas e históricas para solucionar crimes ambientais que, apesar de passarem despercebidos por muitos, afetam, e muito, não apenas o presente, mas, principalmente, as futuras gerações.

Nesse sentido, as técnicas de investigação forense são ferramentas valiosas que contribuem para uma economia substancial na etapa de remediação e reabilitação de áreas contaminadas, uma vez que permitem o desenvolvimento de modelos conceptuais robustos e representativos; a caracterização mais precisa da contaminação, tornando a remediação mais eficiente a longo prazo; a eliminação de alternativas de remediação ineficazes e a prevenção de perdas económicas.

O papel central da investigação geoquímica aplicada à perícia ambiental neste cenário é o de identificar a origem do dano, as vias de transporte de contaminantes e os recetores atingidos pelo dano ambiental (PETRISOR, 2013).

A questão que se coloca é como determinar a origem e como as propriedades físico-químicas dos solos podem ser usados em investigações ambientais, sabendo-se que há uma grande diversidade, heterogeneidade e complexidade no meio somada a presença de contaminantes antrópicos?

Quando o objetivo é avaliar a natureza e a origem da contaminação, os processos envolvidos na contaminação como a migração dos contaminantes e alteração química no tempo e no espaço, são imprescindíveis.

Considerando que a investigação se inicia com a evidência do dano e não propriamente com o ato de poluição, e as consequências da poluição aparecem distantes no tempo do ato poluidor; é aqui que cabem as questões essenciais que a perícia ambiental deve responder:

- (i) qual é a extensão da contaminação?
- (ii) há recetores?
- (iii) a que nível de contaminação os recetores foram expostos e por quanto tempo?
- (iv) quais as substâncias químicas?
- (v) quais as matrizes impactadas?
- (vi) quando ocorreu?
- (viii) quais as ações necessárias para a reparação do dano e eliminação do risco à saúde humana?

Para chegar a essas respostas é necessário percorrer um longo trajeto, mas fatores como temperatura, humidade, disponibilidade de oxigénio, pH e potencial de oxirredução do meio afetam o processo de degradação e alteração química do contaminante e a migração desses compostos é afetada pelo tipo de solo, condutividade hidráulica, capacidade de adsorção, além das propriedades físico-químicas do próprio composto, dentre elas densidade, solubilidade, viscosidade e degradação.

Outro fator relevante que precisa ser compreendido numa investigação de dano ambiental é que o aporte

de um determinado contaminante no solo pode gerar até 4 fases distintas: (i) a fase livre não aquosa de um contaminante, por exemplo mais denso que a água, tal como um solvente clorado, mantém sua migração descendente sob a influência da gravidade de forças de capilaridade tanto na zona não saturada como na zona saturada do solo. Neste deslocamento descendente no meio poroso, uma parte é (ii) sorvida pelos grãos dos solos devido a força capilar, uma parte é (iii) dissolvida na humidade do solo na zona não saturada ou na água da zona saturada e uma parte (iv) volatiliza.

A ocorrência de cada situação depende das propriedades físico-químicas do contaminante, da composição da fase sólida e das propriedades do fluido onde se encontra o contaminante e o sólido.

No que diz respeito aos mecanismos de transporte de compostos orgânicos voláteis, que se movem vertical e horizontalmente através de forças capilares, gravidade, viscosidade e pressões superficiais, eles tendem inicialmente a incorporarem-se na matéria orgânica do solo (húmido ou saturado).

Para obtenção de todos os dados necessários para construção de um modelo conceptual robusto que permita, ao fim, definir com exatidão se há risco para a saúde humana dos recetores, é necessário seguir uma metodologia faseada. Mas, para chegar a esse ponto, não somente a identificação dos recetores são importantes, as vias de exposição e as vias de transportes dos contaminantes são essenciais.

Um caso emblemático em São Paulo – SP/Brasil em que a geoquímica foi essencial para determinação de responsabilidade pelo dano ambiental ocorreu em 2001, quando uma multinacional fez uma autodenúncia no órgão ambiental após identificar na

sua propriedade contaminação por tetracloroetano (PCE).

Desde então, foram realizados 609 furos de sondagem *on* e *off-site* entre pontos de amostragem de solo, piezómetros, poços de monitorização de vapores, de bombeamento, de injeção e extração de vapores. Foi ainda executada caracterização com tecnologia de alta resolução, na propriedade, nas ruas da envolvente e em outras propriedades vizinhas, tanto no meio poroso como na rocha fraturada.

No total foram analisadas 6034 amostras de água subterrânea em 22 campanhas semestrais, realização de 192 pontos de amostragem passiva de vapores do solo em cinco propriedades, e posterior instalação de 50 pontos de amostragem sendo 19 de vapores no contra piso, 22 de ar interno e 9 de ar ambiente para análise de COVH pelo método USEPA-TO-15 em três propriedades.

Com os resultados da avaliação de risco foram implementadas diversas tecnologias de remediação, como bombeamento, extração de vapores do solo, oxidação química e biorremediação.

Com o avanço das investigações foram identificadas fontes de contaminação a montante e a jusante da propriedade, num total de 17 propriedades, o que acabou por ser considerada uma contaminação regional.

Referência

Petrisor, I. G. (2014). *Environmental Forensics Fundamentals. A Practical Guide*. 1ª ed. Florida: CRC Press. ISBN: 9781466571587.

SESSÃO CIENTÍFICA 11 (SC_11)
(Georrecursos Energéticos, Metálicos e Não
Metálicos)

Conveners: Mário Gonçalves; João Pratas; Fernando Rocha

The Iberian industry of industrial minerals and rocks

A indústria ibérica de rochas e minerais Industriais

Alonso-Jiménez(1), M. Regueiro y González-Barros(2), M. Alvarez Areces (1) and D. Oliveira (3)

(1) Instituto Geológico y Minero de España CN IGME-CSIC, Madrid, Spain antonio.alonso@csic.es

(2) Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) Madrid, Spain

(3) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) Lisboa, Portugal.

Summary: Após mais de dois milênios de história da mineração, Espanha e Portugal produzem juntos cerca de mil milhões de toneladas de rochas e minerais industriais a cada ano. Em Espanha e Portugal, a indústria das rochas ornamentais e minerais industriais desenvolveu-se significativamente nos últimos anos. A demanda por materiais de construção e ornamentais aumentou e ambos os países emergiram como líderes mundiais na produção de mármore e outros produtos ornamentais. Apesar dos desafios ambientais e competitivos, a indústria continua lucrativa e em constante crescimento.

Palavras-chave: Indústria ornamental, Mármore, Espanha, Portugal, Minerais Industriais.

Key words: Ornamental industry, Marble, Spain, Portugal, Industrial minerals.

The dimension stone and industrial minerals industry in Spain and Portugal fig. 1 has experienced steady growth in recent years. The demand for materials such as granite, marble, and natural stone has increased due to their popularity in building and home decoration.

In Spain, dimension stone production has mainly been concentrated in the regions of Galicia, Andalusia, and Catalonia. Quarrying and final product manufacturing takes place in these regions due to the availability of high-quality raw materials and the presence of appropriate infrastructure and technologies.

On the other hand, Portugal is known for its production of high-quality marble and is a significant exporter of dimensional stone globally. The marble industry in Portugal has developed in the regions of Estremadura and Alentejo, where there are numerous quarries and factories.

Despite the global pandemic and the uncertainty generated by it since its beginning, the natural stone sector has shown some improvement compared to 2020, increasing exports by 12% in 2021.

In the global context of recent decades, with increasingly globalized economic relations, the reduction in transport costs and the introduction of new information and communication technologies has meant an increase in trade for the natural stone sector due to external and entry opportunities in new markets, as well as increased competition in domestic markets.

Being the most important, foreign trade is not the only manifestation of internationalization since it covers any link between companies and foreign markets.

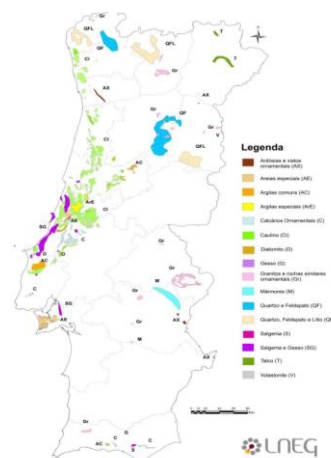


Fig.1 Mineral Resources Occurrences: Continental Portugal: - Non-Metallic resources - Ornamental Stones (LNEG, 2019)

In addition to traditional export, there are new international trends that should be reviewed.

Without being exhaustive, the following stand out:

Offshoring in all its variants. More and more Spanish and Portuguese companies are adding to the relocation of all or part of the production process, creating subsidiaries in other countries, etc. In many cases this expansion includes the exploitation of quarries beyond their borders.

Re-exports and re-imports to take advantage.

tariffs on certain areas are significant in the natural stone industry.

The foreign trade balance of natural stone in Spain is clearly favourable at €749 million. Until 2020 there had been a drop in both exports and imports, in the context of the global crisis.

exacerbated by the COVID19 pandemic. But this year 2022, it has improved by 9.48% compared to 2020. (CLUSTER_PIEDRA, 2022)

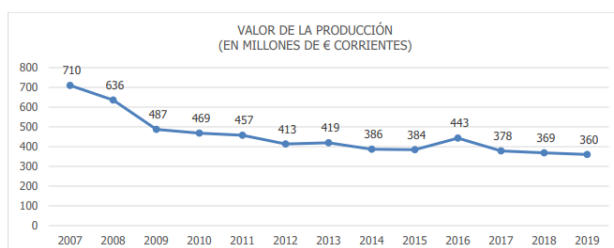
However, the dimension stone and industrial mineral industry in Spain and Portugal also faces challenges. Quarrying and mineral extraction can have negative impacts on the environment and local communities, leading to growing concern for sustainability and social responsibility.

Moreover, international competition is also a significant factor in the industry. The presence of dimension stone and industrial mineral producers in emerging countries such as China and India have created strong competition in the global market.

In conclusion, the dimensional stone and industrial mineral industry in Spain and Portugal is at a time of growth and challenges. Despite the challenges, both countries remain significant producers and exporters of these materials, and demand is expected to continue to increase in the future. Addressing environmental and competitive challenges will be necessary to ensure a sustainable future for the industry.

A short summary of the production quantities over the last 5 years:

In the fig.2 we can see the evolution of the production economic value in Spain in the last years



References

- AICEP Portugal Global, 2019, Portuguese international trade in goods from 2001 to 2018: Lisbon, Portugal, AICEP Portugal Global, September 20.
- Asha Goclawska, Joanna. The Mineral Industry of Portugal, Portugal—2017–2018
- CLUSTER_PIEDRA. (2022). INFORME SECTORIAL 2021. Murcia: AGRUPACIÓN EMPRESARIAL INNOVADORA DE LA PIEDRA NATURAL.
- Instituto Nacional de Estadística. (2022). Península Ibérica em Números. Lisboa: INE Portugal.
- Laboratório Nacional de Energia e Geologia; 2019 Mineral Resources Occurrences: Continental Portugal: - Non-Metallic resources - Ornamental Stones
- Statistics Portugal, 2019, Estatísticas da produção industrial 2018 [Industrial production statistics 2018]: Lisbon, Portugal, Statistics Portugal, November.
- U.S. geological survey minerals yearbook—2017–2018

Fig. 2. Evolution of the value of production - ornamental rocks
Source: Estadística Minera de España 2020

Spain:

Granite: 500,000 metric tons in 2018, 550,000 metric tons in 2019, 570,000 metric tons in 2020, 600,000 metric tons in 2021 and 630,000 metric tons in 2022.

Marble: 400,000 metric tons in 2018, 420,000 metric tons in 2019, 450,000 metric tons in 2020, 470,000 metric tons in 2021, and 500,000 metric tons in 2022.

Portugal:

Marble: 300,000 metric tons in 2018, 320,000 metric tons in 2019, 350,000 metric tons in 2020, 360,000 metric tons in 2021, and 380,000 metric tons in 2022.

Portuguese exports in 2021 reached a figure of 435 M€, according to the Portuguese organization (Instituto Nacional de Estatística, 2022). The main destinations were China (90 million €), France (80 million €), Spain (44 million €), Germany (30 million €) and USA (25 million €).

In the fig. 3 The weight of the industrial minerals and dimension stone industry is very important in the Portuguese economy and looks to be more important than the auto parts manufacturing industry.

In this paper, an attempt is made to collect the interrelation between the two countries, gathering data that shows that they are moving towards an Iberian market for industrial minerals and dimensional rocks, focused mainly on exports abroad.

Principais indústrias (VAB cf), 2020 Principales industrias manufactureras (VAB cf), 2020	
Main manufacturing industries (GVA cf), 2020	
Portugal	%
1 ^a Fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	11,7
2 ^a Indústrias alimentares Industria de la alimentación	10,9
3 ^a Fabricação de outros produtos minerais não metálicos Fabricación de otros productos minerales no metálicos	7,5
4 ^a Fabricação de artigos de borracha e matérias plásticas Fabricación de productos de caucho y plástico	7,0
5 ^a Fabricação de veículos automóveis, reboques, semi-reboques e componentes para veículos automóveis Fabricación de vehículos de motor, remolques y semi-remolques	7,0

Fig.3 Main manufacturing industries in Portugal (Instituto Nacional de Estadística, 2022)

Concessões Mineiras Históricas de Portugal (1836-1962); análise espaço-temporal

Historical Mining Concessions of Portugal (1836-1962); space-time analysis

A. Batista (1), N. Moreira (2) e N. Mourinha (3)

- (1) Serviços de Educação, Município de Torres Novas, Portugal; adriana.silva@cm-torresnovas.pt
- (2) Instituto de Investigação e Formação Avançada - Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra (ICT) - Polo de Évora
- (3) D Ruina Patrimonium

Summary: Major historical events have a great preponderance on the demand of raw materials and the Second Industrial Revolution, in the 18th century, is no exception, resulted in an increase of exploitation of mineral resources in western countries, namely in Portugal. This work perform a space-time analysis of mining concessions granted in Continental Portugal between 1836 and 1962. Tin and tungsten are the elements with the highest number of mining concessions, followed by a set of base metals (Fe, Cu and Pb) and other metals (e.g. Au and Ag), but also non-metallic substances such as coal. The Central Iberian and Galiza-Trás-os-Montes Zones are the geotectonic domains with the highest number of concessions. The decades after the World Wars (i.e. 1920 and 1950) have the highest number of explorations granted.

Key words: mineral resources, mining concessions, space-time analysis, Continental Portugal

Palavras-chave: recursos minerais, concessões mineiras, análise espaço-temporal, Portugal Continental

Os grandes eventos históricos têm uma influência clara na demanda de matérias-primas e a Segunda Revolução Industrial, no século XVIII, não é exceção, tendo tido como consequência o incremento da exploração de recursos minerais metálicos e energéticos (e.g. carvão), nomeadamente nos países ocidentais (Sykes et al., 2016; Yang et al., 2021). O aumento da demanda destes recursos fez-se sentir um pouco por toda a Europa e Portugal não foi alheio ao aumento da procura.

A aferição deste incremento na procura de matérias-primas, bem como a sua evolução temporal, em território nacional pode ser apreendido através do número de concessões mineiras atribuídas ao longo deste período de referência. Neste sentido, foi concebida uma base de dados usando o catálogo de “Minas concedidas no Continente desde agosto de 1836 a dezembro de 1962” (2ª Edição, Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos da Secretaria de Estado da Indústria do Ministério da Economia), onde consta a informação sobre as áreas concessionadas para exploração de depósitos minerais em território nacional, bem como a sua distribuição geográfica. Tendo por base esta publicação, o presente trabalho tem como principais objetivos a análise do número de concessões mineiras concedidas no território de Portugal Continental, dos elementos requeridos durante este período e a análise espaço-temporal destas concessões mineiras.

Quais os elementos/substâncias

De acordo com a base de dados, as substâncias mais pedidas para exploração neste período de referência foram o estanho e o tungsténio, cada um deles com mais de 500 concessões mineiras atribuídas. Foi ainda atribuído um conjunto de concessões de metais base como o ferro, chumbo e cobre, de outros metais como o titânio, ouro, prata ou manganés, e outras substâncias/elementos como o urânio, antimónio, caulino e carvão, cada um destes com 250 a 50 pedidos de concessão mineira concedidos.

Distribuição Temporal

Como referido, o intervalo temporal tratado neste trabalho abrange o período compreendido entre agosto de 1836 a dezembro de 1962.

Entre as décadas de 1830 e 1850 foram poucos os pedidos de concessão mineira concedidos, com um conjunto de 14 pedidos. Após a década de 1850, altura em que se dá a Segunda Revolução Industrial, o número de concessões atribuídas aumenta de forma gradual até ao início do século XX (Fig. 1), com exceção de 1890 onde ocorre um pequeno decréscimo no número de concessões atribuídas.

A partir de 1900 há dois períodos bem marcados de crescimento acentuado, seguidos de quebras significativas no número de concessões mineiras atribuídas: (1) entre 1900 e 1920, com uma quebra significativa em 1930; (2) entre 1930 e 1950, seguido de uma quebra em 1960 (embora os dados da década

em causa não estejam completos) (Fig. 1). As guerras que marcaram o século XX não devem ter sido alheias ao aumento do número de concessões mineiras atribuídas nestes períodos, sendo notório que o incremento antecede o início da 1ª Guerra Mundial (1914-1918) e da 2ª Guerra Mundial (1939-1945), sendo que o auge é atingido na década seguinte a cada uma das guerras em questão (Fig. 1).

Os períodos pós-guerra representam os picos de concessões mineiras atribuídas em Portugal, com 1012 concessões nos anos 1920 e 1208 nos anos 1950. Em ambos os casos, os elementos mais pedidos foram o estanho e o tungsténio, fazendo-se acompanhar nos anos 1920 por caulino, urânio e carvão, e nos anos 1950 por Au e Ag.

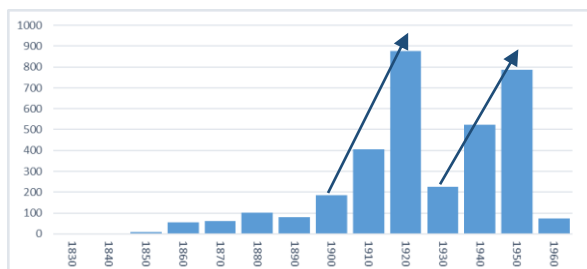


Fig. 1. Gráfico da distribuição temporal do número de concessões mineiras pedidas por década em Portugal.

Distribuição Espacial

Os distritos com mais concessões mineiras localizam-se no interior norte do país, nomeadamente nos distritos da Guarda, Vila Real, Castelo Branco e Bragança, cada um deles totalizando mais de 400 concessões atribuídas, com dominância de elementos metálicos (Fig. 2). Os distritos com menor número de concessões atribuídas são Lisboa, Faro, Santarém, cada um deles com menos de 50 concessões.

No que diz respeito aos domínios geotectónicos, o domínio que apresenta maior número de concessões atribuídas é o conjunto das Zonas Centro Ibérica e Galiza-Trás-os-Montes (3761), com dominância para exploração de estanho (1630) e tungsténio (956), predominantemente associados às rochas granitoides

aqui aflorantes. A Zona de Ossa-Morena é a segunda zona com mais concessões concedidas (258), com o cobre (68), o estanho (55), o titânio (53) e o ferro (49) como principais elementos pedidos. Ainda no Maciço Ibérico, na Zona Sul Portuguesa (principal zona mineira na atualidade nacional) foram atribuídas apenas 181 concessões mineiras, nomeadamente para manganês (87), ferro (38) e cobre (32), maioritariamente nos domínios correspondentes à Faixa Piritosa Ibérica. Com um menor número de concessões atribuídas, destaca-se a Finisterra, com 90 concessões concedidas, na maioria para caulino (64). Enquanto na generalidade do Maciço Ibérico dominam as substâncias metálicas (com exceção da Finisterra), nas Bacias Meso-Cenozóicas os pedidos atribuídos são maioritariamente de elementos não metálicos. Do total de 203 concessões atribuídas, mais de metade são para exploração de carvão (108).

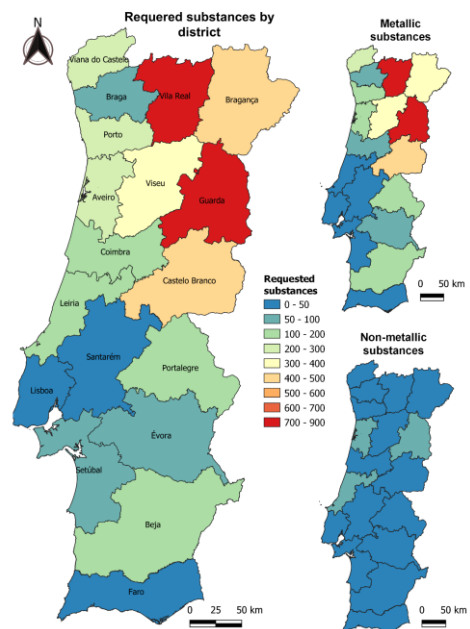


Fig. 2. Distribuição geográfica do número de elementos pedidos por distrito.

Agradecimentos: Noel Moreira é apoiado pelo financiamento concedido ao ICT pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (ref: UIDB/04683/2020; UIDP/04683/2020). Os autores agradecem os comentários do revisor anónimo.

Referências

- Sykes, J. P., Wright, J. P. & Trench, A. (2016). Discovery, supply and demand: From Metals of Antiquity to critical metals. *Applied Earth Science*, 125(1), 3–20.
- Yang, J., Yu, Y. Ma, T., Zhang, C. & Wang, Q. (2021). Evolution of energy and metal demand driven by industrial revolutions and its trend analysis. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*. 19 (3), 256-264.

Levelling geochemical datasets as a tool to overcome boundary features in data applied to mineral exploration

Nivelamento de dados geoquímicos para ultrapassar efeitos de bordadura aplicado à prospecção mineral

M. J. Batista (1), D. de Oliveira (1) and R. Salgueiro (1)

(1) Unidade de Recursos Minerais e Geofísica, LNEG, mjoao.batista@lneg.pt

Resumo: A existência de um elevado número de análises químicas produzidas durante as campanhas de prospeção geoquímica ao longo de décadas, deu origem a um elevado número de resultados analíticos produzidos com diferentes métodos analíticos, protocolos de amostragem e meios amostrais. Assim sendo, é necessário fazer o nivelamento destes resultados analíticos no sentido de os tornar comparáveis e, assim, aproveitar o potencial de informação geoquímica de áreas contíguas. Neste estudo foi utilizada uma técnica de nivelamento com base em bandas testadas com várias larguras entre as cartas de escala 1:25.000, respetivamente a 293/294 e 305/306, da região da Beira Baixa onde se amostraram sedimentos de corrente durante o projeto “Terras Raras”. Estas amostras foram analisadas pelos mesmos métodos analíticos e no mesmo laboratório, mas observaram-se efeitos de bordadura de carta. Estas técnicas de nivelamento devem ser adaptadas aos dados que queremos comparar e no caso presente observou-se o desaparecimento do efeito de bordadura entre as cartas 293/294/305/306.

Palavras-chave: Lantânio, nivelamento de dados de geoquímica, prospecção mineral, sedimentos de corrente, cartografia geoquímica regional

Key words: Lanthanum, geochemical datasets levelling, mineral exploration, stream sediments, regional geochemical mapping

Geochemical mapping is done in Portugal since the late 1950's. The method underwent a long period of developing analytical techniques and geochemical applications. Therefore, the amount of data produced since then for different purposes and with different analytical and sampling methods is enormous. To conduct geochemical exploration is important to map regional areas to observe regional anomalies before target studies. The first step is to map the existing data. Frequently the data existing served specific objectives, analyzed by different methods with a variety of chemical extractants resulting in different backgrounds and non-geological features. Features like the frontiers between countries and topographic sheets appear in the geochemical maps putting in evidence the different analytical or instrumental data. The use of levelling of different geochemical campaigns facilitate the mapping of old data in larger areas. The objective of this study is to apply a technique of levelling lanthanum results in two sampling phases in 1:25.000 topographic sheets 293/305 and 293/294/305/306 of the Beira Baixa in stream sediments collected during the Rare Earth Elements Exploration Project financed by the INTERREG Program in the 1990's. These stream sediments were analysed in the same laboratory and with the same method but in different periods,

hence, shows differences between the map sheets. This study focuses on lanthanum levelling, which is a REE element analysed by INAA in Actlabs, Ontario, Canada. The levelling is based on the Daneshfar and Cameron (1998) method. Fig. 1 shows the differences of La data between 293/294/305 and 306 map sheets. The La results in the arcose conglomerates of Cabeço do Infante formation (Beira Baixa; covering most of the area of 293 and 305 sheets), presented a different median result of 20.6 mgkg⁻¹ and 34.8 mgkg⁻¹ respectively for 293 south border band and 305 north border band and was the first to be leveled. The method consists in the selection of the best possible band width (e.g., Fig.2b-A1/A2-B1/B2) in the border of each sheet where geological formations are more or less the same. The quantiles (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95) were calculated after log transforming the results in both bands. The next step is to calculate the equation of regression to a 95% level of confidence where Y is the levelling data and the X the data to be leveled. The regression equations calculated first 293/305 and after for the areas A2/B2 corresponding to 293/294 and 305/306 map sheets, are:

$$\log_{10}La_{(305)}=0.5257+0.7621x\log_{10}La_{(293)}.$$

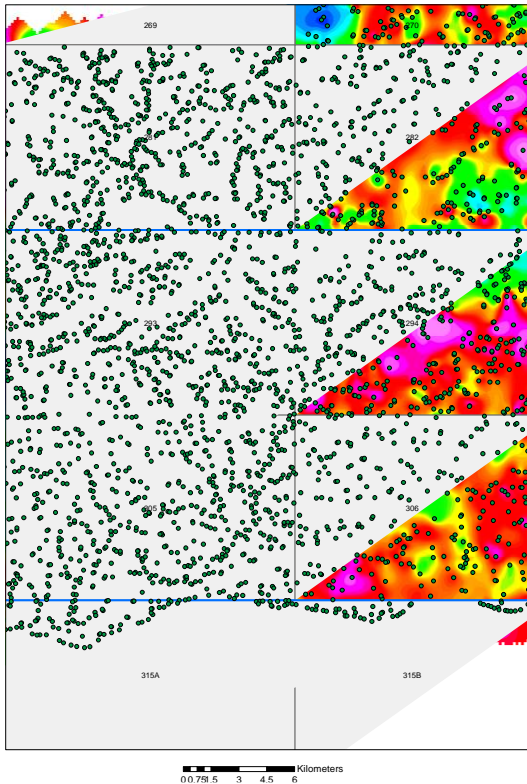


Fig. 1 – Lanthanum distribution in the boundary of two 1:25.000 topographic sheets of the Beira Baixa area, from the regional campaign of stream sediments geochemistry of the Rare Earth exploration Project.

$$\text{Log}_{10}\text{La}_{(B2)}=0.627+0.6553\times\text{log}_{10}\text{La}_{(A2)}.$$

After levelling both boundaries, all $\log(\text{La})$ values were transformed from log scale into the original scale and projected as reflected in Fig. 2a, b. Multiple phases of levelling were necessary to remove the non-geological patterns evident on the raw geochemical images of a regional data compilation as stated in Agnew et al. (2004). Nevertheless, levelling needs to be a cautious exercise with a specific purpose of presenting a larger area of geochemical data taking in account that original data needs to be preserved and should be used whenever local targets are studied. Data with different sampling media, sampling protocols and analytical techniques result in different background levels and in some cases may not be possible to level the data.

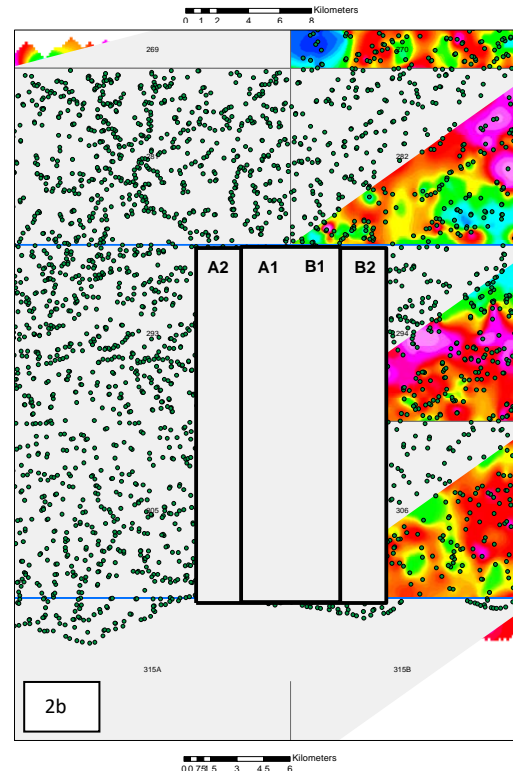
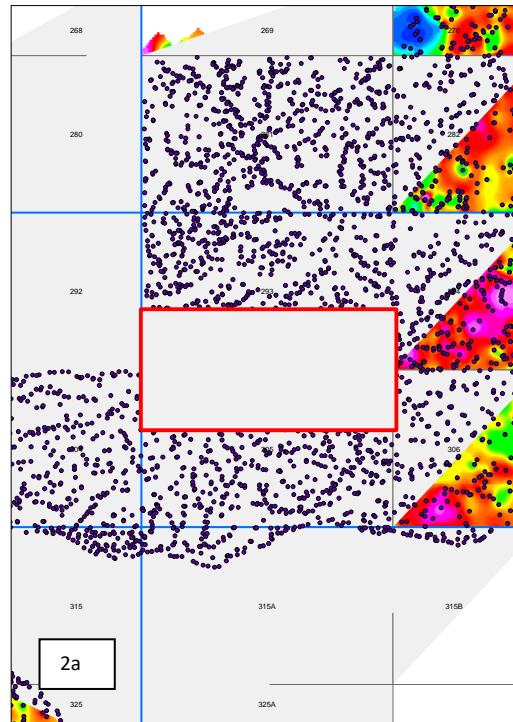


Fig. 2 - a. Leveled data for La in stream sediments of the 293 sheet by 305; b. Leveled data for La in stream sediments of the A2-293/294 sheet by B2-305/306 sheet based in Daneshfar and Cameron (1998).

References

- Agnew, P. D., Muhling, J., & Goldfarb, R. J. (2004). Applications of geochemistry in targeting with emphasis on large stream and lake sediment data compilations. *Predictive Mineral Discovery Under Cover*, 232.
- Daneshfar, B. & Cameron, E. (1998). Leveling geochemical data between map sheets. *Journal of Geochemical Exploration* 63, 189–201.

Áreas potenciais de Portugal para recursos minerais do domínio público

Potential areas in Portugal for state-owned mineral resources

J. Carvalho (1), A. Filipe (1), P. Gonçalves (1), J. Lisboa (1), J. Matos (1), M. Batista (1), R. Salgueiro e D. Oliveira (1)

(1) LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, jorge.carvalho@lneg.pt

Summary: Land-use planning is decisive for granting access to mineral resources. During the work to identify the actions to be taken for preparing the National Strategy for Geological Resources, a map of mineral potential areas for Portugal was produced. It provides the starting point scenario needed for the implementation of a methodology aimed at the delineation of mineral safeguarding areas.

Key words: Land-use planning, mineral resources, potential areas, safeguarding

Palavras-chave: Ordenamento do Território, recursos minerais, áreas potenciais, salvaguarda

Na prática nacional o Ordenamento do Território é a sede da política com incidência territorial de gestão dos recursos naturais, razão pela qual é decisivo no processo de garantir ao setor mineiro o acesso aos recursos minerais. Ao propor um Plano Setorial para os recursos minerais, o PNPOT - Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território, em vigor desde 2019, assumiu a importância estratégica destes recursos para o desenvolvimento nacional. Essa proposta ganhou forma com a publicação do Decreto-Lei nº 30 de 2021 que no seu artigo 73º preconiza a elaboração de uma Estratégia Nacional dos Recursos Geológicos, a qual, de acordo com o Despacho nº 8364 de 2021 do Gabinete do Secretário de Estado Adjunto e da Energia deverá ter incidência territorial.

No âmbito dos trabalhos preparatórios da elaboração dessa Estratégia, o contributo do LNEG assentou na identificação do “potencial mineiro” nacional, traduzido pela elaboração de um mapa de áreas potenciais para 9 grupos de substâncias qualificáveis administrativamente como depósitos minerais (Fig. 1): argilas especiais e areias siliciosas; cobre, chumbo e zinco; crómio, níquel, vanádio e talco; ferro; ouro, prata e antimónio; quartzo, feldspato, lítio e berílio; sal-gema e gesso; tungsténio, estanho, tântalo e nióbio; urânio.

A delimitação de áreas potenciais para estes grupos de substâncias baseou-se essencialmente na conjugação do conhecimento existente sobre a

distribuição espacial das ocorrências minerais conhecidas em território nacional com o conhecimento sobre a disposição espacial das unidades geológicas favoráveis a essas ocorrências. O Mapa de Áreas Potenciais tem caráter infográfico: as áreas nele representadas não devem ser interpretados rigidamente, sendo essa a razão pela qual foram desenhadas com formas poligonais, ao contrário do que é comum em padrões geológicos.

As áreas potenciais apresentadas traduzem genericamente a incidência territorial do potencial existente em recursos minerais; são indicadoras das regiões favoráveis à ocorrência de depósitos minerais, mas cujo conhecimento intrínseco não é suficiente para condicionar o uso do território.

Assim, visando a delimitação de áreas a integrar num programa setorial de ordenamento do território para os recursos minerais, importa uma abordagem metodológica que, tendo como base de partida as áreas potenciais agora apresentadas, possa conduzir a uma delimitação e hierarquização de áreas, forçosamente de muito menores dimensões, para salvaguarda dos recursos minerais com valor económico que aí existam ou possam existir, numa lógica de compatibilização com outros recursos e valores.

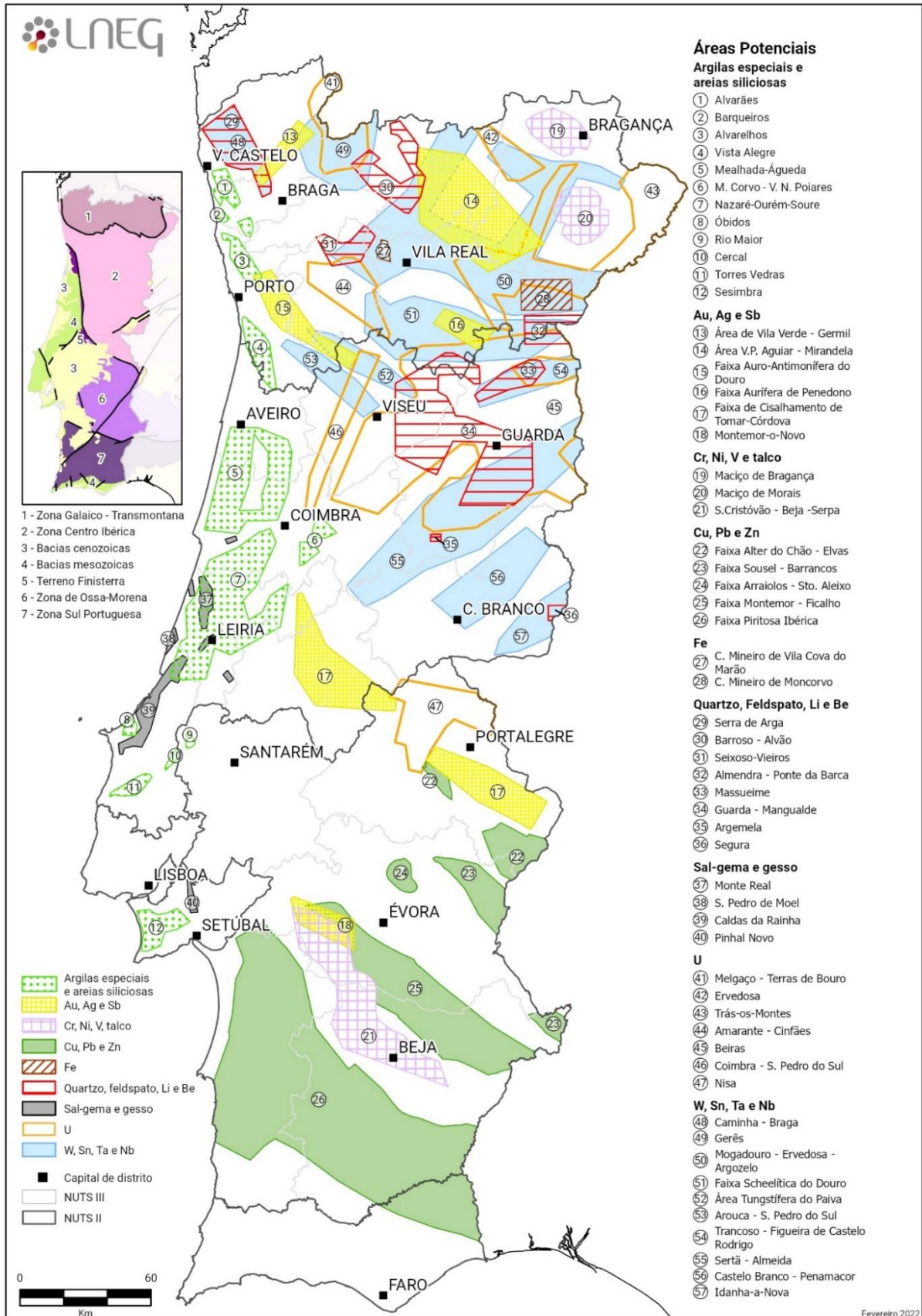


Fig. 1. Áreas potenciais para recursos minerais de substâncias qualificáveis como depósitos minerais.

Evaluation of pXRF as an exploration tool in soil analysis to detect antimony mineralizations: Case of study in Ribeiro da Serra and Tapada- Northern Portugal

Avaliação da pXRF como ferramenta de prospeção em análises de solo para deteção de mineralizações de antimónio: Caso de estudo em Ribeiro da Serra e Tapada- Norte de Portugal

M. Carvalho (1,2), G. Resta (1,2) A. Carvalho (1,2), R. Frutuoso (2) and A. Lima (1,2)

(1) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, rua do Campo Alegre s/n, Porto 4169-007, Portugal. Margana.carvalho@fc.up.pt

(2) Instituto de Ciências da Terra, Pólo Porto, rua do Campo Alegre 687, Porto 4169-007, Portugal.

Sumário: Fluorescência de Raios-X portátil (pXRF) é uma ferramenta que possibilita análises elementares qualitativas e semi-quantitativas em tempo real. Neste trabalho foi avaliada a exactidão do método para a análise quantitativa de antimónio nas antigas zonas mineiras de Ribeiro da Serra e Tapada, utilizando amostras de solo. Os resultados obtidos foram favoráveis quanto à capacidade de identificação e quantificação deste elemento.

Palavras-chave: Fluorescência de raio X portátil, mineralizações de antimónio, análise de solos, Ribeiro da Serra, Tapada

Key words: Portable X-Ray Fluorescence, antimony mineralization, soil analysis, Ribeiro da Serra, Tapada

Portable X-ray Fluorescence (pXRF) analysis in exploration allows to reduce costs and sample preparation steps that are associated with other analyses, besides allowing to evaluate the results in real time during field work.

In this study pXRF was tested in the encompassing zone of Ribeiro da Serra and Tapada, two abandoned mining complexes from the late 19th century where stibine was exploited. This antimony deposit is located in the western flank of the Valongo anticline, in the Dúrico-Beirão Mining District (Fig. 1).

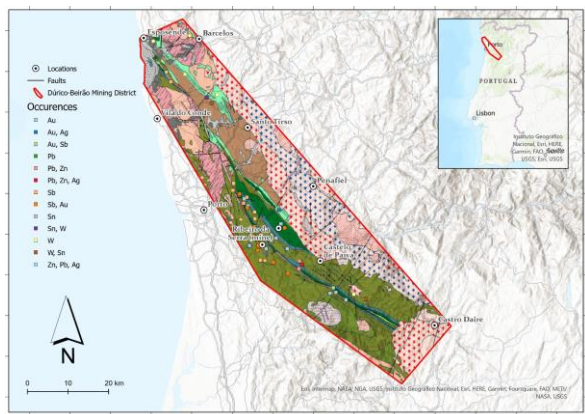


Fig. 1. The Dúrico-Beirão Mining District with its multiple deposits occurrences (Figure elaborated for Resta, G., unpublished).

A soil sampling campaign was performed using a 50x50 m grid over the target areas, with an angle of 45°. The angle of the soil lines considered the regional Douro Shear Zone, the Valongo anticline and the direction exploited veins rich in Sb-Au. The soil samples were collected preferentially from B or C horizons. Rainy days and wet soils were avoided. In the total, 309 samples were collected, 157 from Ribeiro da Serra and 152 from Tapada (Fig.2).

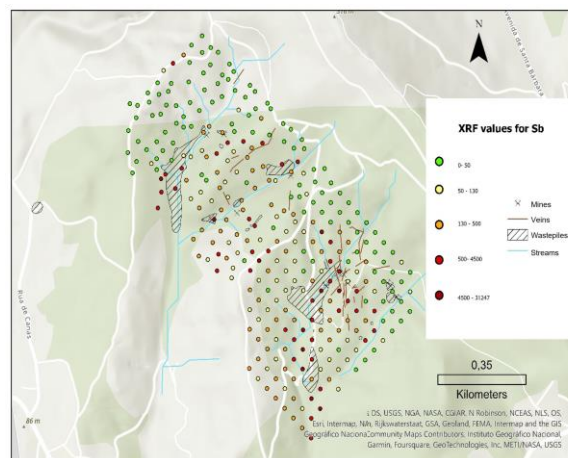


Fig. 2. Location where the soil samples were collected and the pXRF measurements for antimony (Sb).

The samples were analysed directly from the collection bags (polyethylene bags) with the

equipment Bruker S1 Titan X-ray fluorescence analyser. Each sample was analysed on three different points with a 90 second beam. To compare the results, 1/3 of the samples collected was sent to analysis by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

The evaluation of the results was made considering the uncertainty associated to the pXRF analyser, calculated using the combined standard uncertainty.

Compared with the samples that were sent to the ICP-MS analysis, antimony shows a coefficient of determination (R^2) of 0,9 for the Ribeiro da Serra

samples and 0,88 for the Tapada samples. Correct strong correlation between Sb and other elements also can be obtained with the pXRF data, as Factor analysis loads and PCA scores.

Considering the uncertainty associated with the pXRF measurements, it was found a very effective tool into measure since low to high values of antimony, being useful for testing the mineralization distribution, identify possible new mineralized structures and even soil contamination.

Acknowledgements: This work is supported by national funding awarded by FCT - Foundation for Science and Technology, I.P., projects UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020.

Caracterização mineralógica do jazigo de ferro de Vila Cova (Marão)

Mineralogical characterization of the Vila Cova (Marão) iron deposit

J.M. Dias (1), R. Vianez (1), H. Sant'Ovaia (1,2), A. Guedes (1,2), C. Cruz (1,2), J. Ferreira (1,2) e F. Noronha (1,2)

- (1) Departamento de Geociências Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal
 (2) Instituto de Ciências da Terra, Pólo-Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal
 joana.dias@fc.up.pt

Summary: The mineralogical characterization of the ore from the Vila Cova deposit, a non-active iron mine located in the north of Portugal, was carried out using petrography, metallography, microspectroscopy Raman and Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy. Consequently, minerals such as quartz, chlorite, magnetite, pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, galena, rutile, zircon, plagioclase, alkali feldspar, xenotime, monazite and apatite with sporadic inclusions of minerals with rare earth elements were identified. This characterization is important as a basis for other studies and it is useful in assessing the ore quality of this deposit. The existence of minerals with rare earth elements in the phosphates must be considered since their presence can increase the importance of this deposit. The same must happen concerning uranium and thorium which, being radioactive elements, harm the possible exploitation of this ore.

Keywords: iron ore, magnetite, petrography, microspectroscopy Raman, SEM-EDS

Palavras-chave: minério de ferro, magnetite, petrografia, microespectroscopia Raman, MEV/EDE

O jazigo de ferro de Vila Cova (Fig. 1) é uma das várias explorações não ativas em Portugal. Este, localiza-se geograficamente no nordeste da Serra do Marão, no distrito de Vila Real, e geologicamente na Zona Centro-Ibérica (Julivert et al., 1974). As rochas encaixantes do minério de ferro são quartzitos e xistos da Formação do Marão, do Ordovícico Superior (Pereira, 1987).

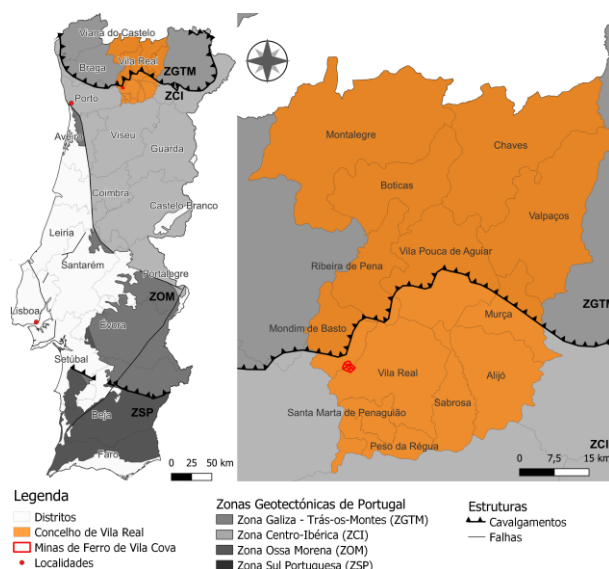


Fig. 3. Enquadramento geográfico e geotectónico do jazigo de ferro de Vila Cova do Marão.

O objetivo deste trabalho é caracterizar o minério de ferro de Vila Cova através do estudo petrográfico, metalográfico, de microespectroscopia Raman e de microscopia eletrónica de varrimento com

espectroscopia de dispersão de energia de raios-X (MEV/EDE). Estes estudos foram realizados no Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Universidade do Porto (UP) e no Centro de Materiais da UP.

Foram assim identificados como minerais essenciais, quartzo, clorite e magnetite (Fig. 2) e como minerais acessórios pirite, arsenopirite, calcopirite, galena, rútilo, zircão, plagioclase, feldspato potássico, xenótimo, monazite e apatite (Fig. 2, 3 e 4). Através do MEV/EDE (Fig. 3 e 4) confirmou-se a presença de albite e de apatite (Fig. 4c), estas, por vezes, com inclusões de minerais ricos em elementos terras raras (ETR), como é o caso do xenótimo (Fig. 4d) e da monazite (Fig. 4e).

Este é um trabalho preliminar de suporte a estudos subsequentes, uma vez que consiste na identificação sumária dos minerais presentes no jazigo de ferro de Vila Cova, informação que, por seu turno, contribui para a avaliação da qualidade do minério desse jazigo. A presença de minerais com ETR, tradicionais contaminantes do minério de ferro, também deve ser avaliada, pois a sua análise quantitativa e qualitativa poderá influenciar a importância desse jazigo, tal como já aconteceu em outros semelhantes (ex: mina de Kiruna, Suécia). O mesmo deve acontecer relativamente ao urânio e ao tório (Fig. 4e) que, sendo elementos radioativos, prejudicam a possível exploração deste minério, ao contrário dos ETR que a beneficiam.

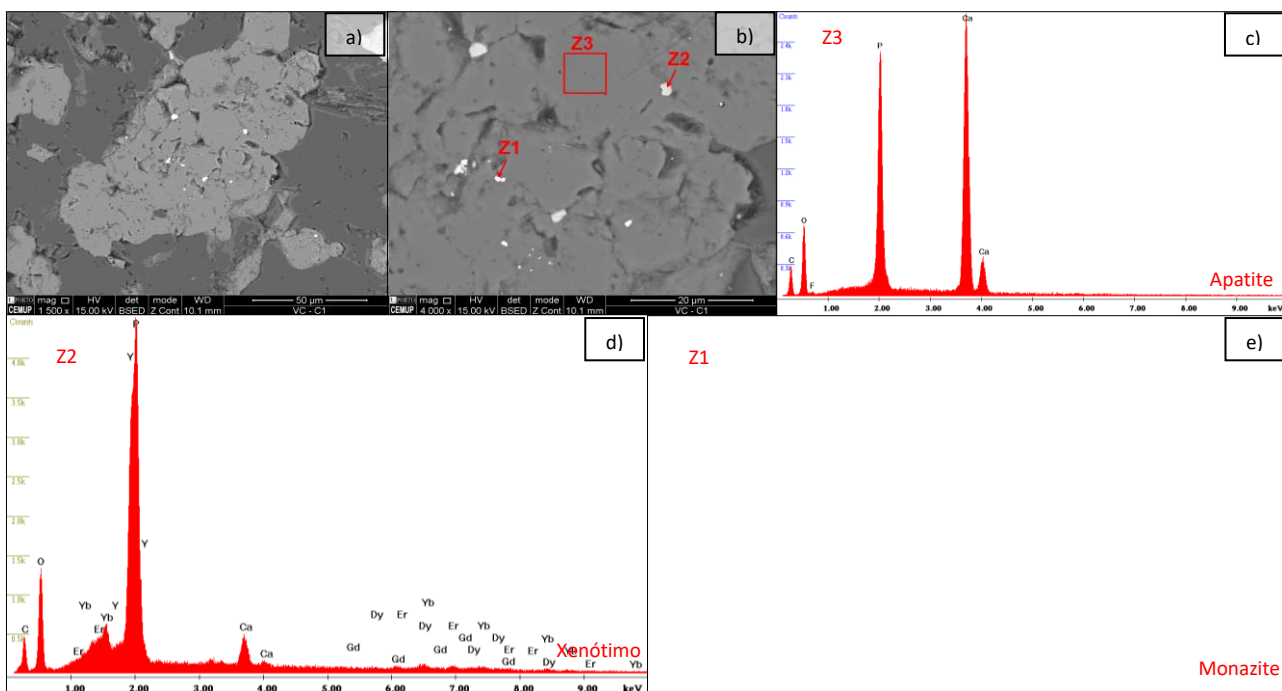
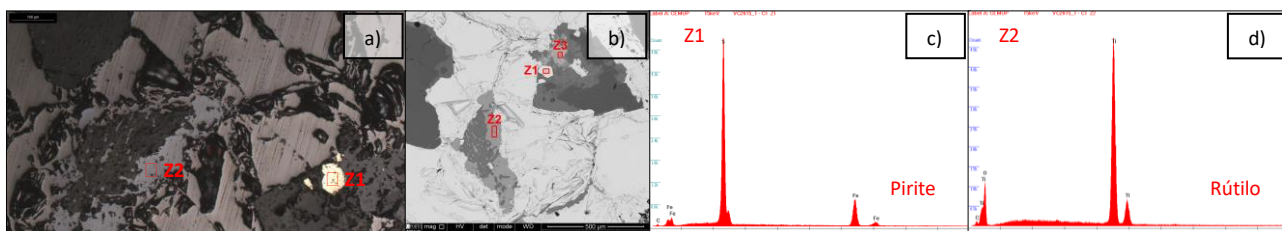


Fig. 4. Imagens obtidas por MEV-EDE: a) Cristal de apatite com inclusões de ETR (Z1 e Z2); b) Vista aproximada do cristal de apatite com pontos para EDE marcados. Espectros EDE dos pontos: c) Z3, corresponde ao cristal de apatite; d) Z2, corresponde a xenótimo; e) Z1, corresponde a monazite.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado pelo projeto "Development of Sustainable Materials for Water Splitting: an integrated study from cradle to grave" com referência NORTE-01-0145-FEDER-000076 e parcialmente financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projetos com Ref^ºs UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020. C. Cruz é investigadora contratada no projeto UIDP/04683/2020 (FCT- Portugal).

Referências

Julivert, M., Fontboté, J. M., Ribeiro, A., & Conde, L. (1974). Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares. Escala 1: 1,000,000. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. 113 pp.
 Pereira, E. (1987). Folha 10-A - Celorico de Basto da carta geológica de Portugal. 1:50,000. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.

Petrography and mineral chemistry of Aldeia (Canedo) Li-pegmatites Petrografia e química mineral de aplito-pegmatitos de Li de Aldeia (Canedo)

B. Farinha Ferreira (1), M. Gaspar (1,2) and P. C. R. Rodrigues (1,2)

(1) Dep. de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C6, 1749-016

Lisboa. [Bruno.filipeferreira@hotmail.com](mailto:bruno.filipeferreira@hotmail.com)

(2) Instituto Dom Luíz, Campo Grande, 1749-016 Lisboa

Sumário: A análise petrográfica e química mineral de corpos aplito-pegmatíticos de Aldeia (Canedo) permitiu mostrar uma história de cristalização complexa com duas fases principais de cristalização, seguidas de metassomatismo tardio. A 1ª fase composta por albite-microclina-quartzo-moscovite \pm berilo \pm fosfatos representa um magma pobre em Li, com P e F moderado e algum Fe, Mn e Sn. A fase 2, concomitante com a cristalização da espodumena, apresenta albite-quartzo-moscovite \pm montebrasite \pm columbite e representa um magma rico em Li, pobre em F, com alguns HFSE. As microtexturas observadas sugerem acomodação de deformação a quente anterior à terceira fase Varisca.

Palavras-chave: lítio, complexo, espodumena, elementos raros, aplito-pegmatitos

Key words: lithium, complex, spodumene, rare elements, aplite-pegmatite,

The northern Portugal is characterized by abundant pegmatitic fields of the LCT (Lithium, Caesium, Tantalum) family defined by Černý & Ercit (2005). These pegmatitic fields have been extensively studied from an economic, petrographic, and geochemical point of view (e.g., Lima, 2000). Aldeia's pegmatite swarm, part of the much larger Barroso-Alvão pegmatitic field, is composed of several spodumene-bearing aplite-pegmatite bodies hosted in a sequence of mica-schists and quartz-schists belonging to the parautochthonous unit of NE Iberia.

An appraisal of the Li-mineralization was carried out on drillhole samples from both host-rocks and aplite-pegmatite bodies. 30 thin sections were produced. After a detailed petrographic analysis, 16 thin sections were selected for Electron Microprobe Analysis (EMPA) to assess mineral compositions.

The petrographic analysis revealed that spodumene-bearing aplite-pegmatites are poorly zoned, and show a complex mineral assemblage developed along two main crystallization stages, with a superimposed later metasomatic event. The first stage is characterized by a plagioclase-microcline-quartz-muscovite pegmatitic assemblage, with accessory beryl, apatite, Fe-Mn(Li) phosphates and minor U-REE phosphates and sulfides (sphalerite \pm pyrite), mingled with an aplitic phase with similar composition, yet absent in K-spar, that sometimes cuts or acts as the groundmass of the pegmatite phases. Myrmekitic and perthitic textures, recrystallization of the exsolved albite, and high

degree of alteration and deformation of the K-spar are common features of the pegmatitic assemblage.

The next stage is characterized by a main assemblage of spodumene, albite, quartz and muscovite, with accessory montebrasite, and minor Nb(Ta) oxides. This assemblage, texturally ranging from aplitic to pegmatitic, displays either diffuse or sharp contacts with the first stage minerals, frequently underlined by muscovite recrystallization. Given the metallogenetic and economic implications of the reported variability for the Li-bearing phases within the Barroso-Alvão pegmatitic field, it is important to stress that: 1- although usually deformed, spodumene from this stage is extremely fresh, with no evidence of alteration or weathering processes; 2- petalite is absent and there is no suggestion that spodumene results from the decomposition of petalite, since SQI (Spodumene Quartz Intergrowth) textures are inexistent in the studied samples.

All the main mineral phases from both stages (including spodumene) exhibit micro-textures and intra-crystalline high-T deformation features, suggesting deformation under crystallization and cooling conditions, compatible with the regional Variscan deformation patterns observed in the metasedimentary host-rocks.

The final metasomatic stage is mainly expressed by secondary Fe-Mn phosphates replacing apatite and primary Fe-Mn(Li) phosphates.

The host-rocks are characterized by a strong tectono-metamorphic fabric with a lepidoblastic texture, recording 3 main deformation phases. These schists have an heterogeneous quartz, biotite, muscovite, chlorite, and ilmenite, mineral assemblage, somewhat recrystallized, and locally enriched in tourmaline and minor accessory minerals (*e.g.*, apatite, xenotime, pirite and arsenopyrite). Millimetric porphyroblasts of euhedral garnet and biotite are sporadically present.

Several considerations can be made based on preliminary EMPA data of key minerals:

Alkali feldspars are almost pure microcline and albite, showing a moderate berlinitic component (microcline - 0.22 wt.% P₂O₅ average (avg) and up to 0.40 wt.%; albite 0.14% wt.% P₂O₅ avg and up to 0.39%). Given their abundance, they may be strong candidates as a P source for subsequent accessory phosphates. Note that F-apatite often occurs as inclusions in microcline and albite that can be seen as exsolved phases.

Spodumene is extremely pure (<1wt.% FeO and 3.68 wt.% avg estimated Li) showing consistent Cr contents (330 ppm avg).

White-micas from the pegmatite bodies present a composition very close to pure muscovite with a minor component of Li-muscovite (estimated Li content 0.12 wt.% avg), while muscovite from the host rock deviates towards a more phengitic composition, with similar Li contents (0.13 wt.% avg). Note that within a centimetric halo from the pegmatite, mica-schist muscovite has 0.20 wt.% avg Li. Fluorine range in avg from 0.07 wt.% in the schists to 0.14 wt.% in the pegmatites, reaching 0.67 wt.% in the contact halo. A distinction can be made as well based on trace elements, with significant enrichments in Sn, Nb, and Ta in the pegmatite (*e.g.*, up to 1000 ppm Sn) and in the contact halo (up to 780 ppm Sn) when compared to muscovite from the schists (20 ppm avg Sn).

Biotite from mica-schists fall in a compositional trend between Fe-biotite and siderophyllite, reaching siderophyllite compositions when approaching the pegmatites. They show average

Li contents of 0.21 wt.% and 0.31 wt.% respectively. Notable higher F content (up to 1.68 wt.%) is registered in siderophyllite, contrasting with 0.24 wt.% F avg in Fe-biotite.

Apatite is mostly F-apatite with minor OH-apatite. Remarkable high Mn contents up to 5 wt.% MnO, and occasionally enrichments in Fe and Sr, are shown by a considerable number of apatite grains from the aplite-pegmatite. MnO in apatite from the schist never exceeds 1 wt.%.

First stage Fe-Mn(Li) phosphates range in composition between tryphillite–lithiophyllite and heterosite–purpurite series. Secondary late-stage Fe-Mn phosphates belong to the fairfieldite–messelite series, frequently altered to later ludlamite. It is also worth mentioning the presence of secondary Sr phosphates.

Ilmenite shows a systematic compositional variation, being Mn-enriched close to the aplite-pegmatites while further away they tend to be enriched in HFSE (W+Nb+Ta). Porphyroblastic garnet is not compositionally zoned and can be classified as almandine with a significant spessartine component (averaging 66% alm and 22% sps). Tourmaline from the metasediments shows two compositional groups. Group 1 tourmaline is Ca- and Mg-enriched relative to group 2, the latter representing tourmalines closer to the contact with the pegmatites. Group 1 should represent metamorphic tourmalines, while group 2 should involve a magmatic-hydrothermal component, consistent with the work of Gaspar *et al.* (2022).

Based on petrography and mineral chemistry, the studied Aldeia aplite-pegmatites can be classified as Complex Spodumene Rare Element-Li pegmatites of (Černý, & Ercit, 2005). They are texturally and compositionally similar, showing a complex history with two main crystallization stages, with secondary phosphates underlining late metasomatism. Stage 1 should represent a Li-poor melt, with moderate P and F, and minor Fe, Mn, and Sn. Stage 2, concomitant with spodumene crystallization, should represent a Li-rich and F-poor melt with minor Nb and Ta.

Acknowledgements: INOVMINERAL4.0 project and UIDB/50019/2020- IDL grant (FCT I.P./MCTES).

References

- Černý, P., & Ercit, T. S. (2005). The classification of granitic pegmatites revisited. *The Canadian Mineralogist*, 43(6), 2005–2026.
- Gaspar, M., Ribeiro da Costa I., Mateus A., Martins I. & Rodrigues P. (2022) Assessment of tourmaline composition as a vectoring tool for Sn-W Deposits – the Góis-Panasqueira-Segura belt (Central Portugal). SEG 2022 Conference: *Minerals for Our Future*, 27-30 Aug, Denver, USA.
- Lima, A. (2000). Estrutura, Mineralogia e Génese dos Filões Aplitepegmatíticos com Espodumena da Região do Barroso-Alvão. Ph.D. Thesis, Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Development of Sustainable Materials for Water Splitting

Desenvolvimento de materiais sustentáveis para a eletrólise da água

J. A. Ferreira (1*), H. Sant’Ovaia (1), A. Guedes (1), F. Noronha (1) and C. M. Pereira (2)

(1) Institute of Earth Sciences – Porto Pole, Department of Geosciences, Environment and Spatial Plannings, Faculty of Sciences, University of Porto, rua do Campo Alegre s/n, 4169– 007 Porto, Portugal

(2) Centro de Investigação em Química da Universidade do Porto, Department of Chemistry and Biochemistry, Faculty of Sciences, University of Porto, rua do Campo Alegre s/n, 4169– 007 Porto, Portugal

*joana.ferreira@fc.up.pt

Sumário: A transição para uma sociedade sustentável com impácte neutro no clima está nas metas da União Europeia até 2050, tal implica a procura e o desenvolvimento de fontes de energia verde (ex: hidrogénio) que substituam os combustíveis fósseis e deste modo reduzir a emissão de gases efeitos de estufa. O hidrogénio é visto pela União Europeia como uma energia verde alternativa aos combustíveis fósseis. O presente trabalho foca-se na apresentação do projeto Water Splitting cujo principal objetivo é o desenvolvimento de materiais sustentáveis para o processo de fotoeletrólise da água interveniente na produção de hidrogénio. O objetivo principal do projeto é avaliar os recursos minerais nacionais como origem de nanomateriais para o fabrico de materiais utilizados na fotoeletrólise da água (i.e. elétrodos). Os recursos minerais testados serão os que permitem a obtenção de minerais com tungsténio (volframite e scheelite), zinco (esfalerite), e ferro (magnetite e hematite).

Palavras-chave: Energia; Hidrogénio; Eletrólise; Minerais; Recursos

Key words: Energy; Hydrogen; Water Splitting; Mineral; Resources

The sustainability of Smart Cities and their contribution for the goal of Neutral Climate Impact requires the development of greener energy sources with reduced climate impact. Hydrogen is envisaged by Portugal and the European Union as one step forward in the direction of Neutral Climate Impact. To achieve this, a scientific and technological effort is still required in the development of new materials that can improve the energetic efficiency of hydrogen generation and use.

The Photoelectrochemical (PEC) water splitting produces hydrogen from water using sunlight and specialized semiconductors called photoelectrochemical materials, which use solar energy to directly dissociate water molecules into hydrogen and oxygen. This is a long-term technology with high capacity since it utilizes an unlimited energy source, solar light, for the production of chemical energy, in the form of hydrogen and oxygen, with low or any greenhouse gas emissions (Yu *et al.*, 2020).

This project aims to evaluate the available national mineral resources, to develop national competences for fabrication of water splitting materials (*i.e.* photoelectrodes), and to assess the environmental safety of the fabricated materials, in that way contributing to the neutral climate impact of Smart Cities and to the national hydrogen strategy (EN-H2). Therefore, the Water Splitting project gathered researchers from four Porto University research units (CIQUP, GreenUPorto, ICT and IFIMUT) to contribute

to the assessment and harmonization of the existing data on national relevant mineral resources, to develop new oxide nanomaterials that can be used in the electrochemical and photoelectrochemical water splitting for hydrogen production, to issue recommendations on the safe environmental production and management of the raw materials and final products and to disseminate for the community the findings generated in the project.

The project targets are structured in five tasks/working packages (WP) aiming at the development of:

WP1: updated evaluation of the available mineral resources of non-precious metals that can be used in the fabrication of water splitting materials;

WP2: new metal oxide materials for improved water splitting;

WP3: new metal oxide nanomaterial devices with improved water splitting properties;

WP4: recommendations on the safe environmental use of the metal oxide nanomaterial devices;

WP5: a prototype to demonstrate the achievements of the project.

The ICT team included in the project is responsible for the execution of the first working package (WP1) which consists in the re-assessment and harmonization of the available data, sampling, and ore characterization. As the materials of interest for the water splitting devices are metals like W, Fe and

Zn, the WP1 target is the characterization of tungsten, iron and zinc ores (e.g., wolframite, scheelite, magnetite, hematite and sphalerite; Fig. 1). Since the tungsten and zinc ores from the Panasqueira/Borralha and Neves Corvo/Aljustrel deposits, respectively, are very well studied and characterized, the ongoing work is focused on the characterization of the iron ores from the Moncorvo and Marão deposits. For instance, the last studies which concerns the Marão iron ore characterization are from the fifties (e.g., Neiva, 1949; Neiva *et al.*, 1957; Priem, 1962).

Therefore, the research line is focused on the characterization of magnetic mineralogy from the iron deposits using modern techniques such as petrographic characterization, Scanning Electron Microscopy, Magnetic Susceptibility, Isothermal Remanent Magnetization, Raman Spectroscopy, X-ray Diffraction, Mössbauer Spectroscopy, X-ray Fluorescence, Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy and mineral oxygen isotopes ($\delta^{18}\text{O}$).

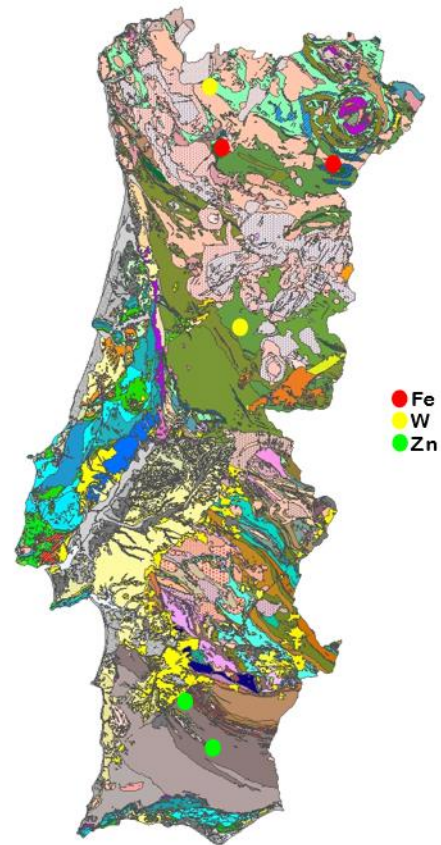


Fig. 1. Portugal Geological Map at 1/500 000 (Oliveira *et al.*, 1992) where is identified the mineral deposits with interest for the project.

Acknowledgements: This project with the reference NORTE-01-0145-FEDER-000076 is supported by the NORTE 2020 Regional Operational Program under the Program Priority Axis I – Strengthening Research, Technological Development and Innovation with the reference NORTE-45-2020-75 (Structured R&D&I Projects - Horizon Europe). The work is funded by national funds through FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., in the framework of the ICT project with the references UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020.

References

- Neiva, J.M.C. (1949). Geologia dos minérios de ferro portugueses: seu interesse para a siderurgia. Memórias e Notícias do Museu e Laboratório Geológico e Mineralógico da Universidade de Coimbra, 26.
- Neiva, J. M. C., Silva, G. H. & Pureza, F. G. (1957). Novas jazidas de ferro da Serra do Marão e contribuição para o estudo geológico desta serra. Memórias e Notícias do Museu e Laboratório Geológico e Mineralógico da Universidade de Coimbra, 43.
- Oliveira, J.T., Pereira, E., Ramalho, M., Antunes, M.T. & Monteiro, J. H. (1992). Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:500 000 – Folhas Norte e Sul. Serviços Geológicos de Portugal.
- Priem, H.N. A. 1962. Geological, Petrological and Mineralogical investigations in the Serra do Marão region, Northern Portugal. N. V. Noord-Hollandsche Uitgvers-Maatschappij, Amsterdam, 160 p
- Yu, J. M., Lee, J., Kim, Y. S., Song, J., Oh, J., Lee, S. M., Jeong, M., Kim, Y., Kwak, J. H., Cho, S., Yang, C. & Jang, J. W. (2020). High-performance and stable photoelectrochemical water splitting cell with organic-photoactive-layer-based photoanode. Nature Communications, 11(1), 5509. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19329-0>

Challenges in modern geochemical exploration: multi-element singularity maps and input into unsupervised machine learning algorithms

Desafios da prospecção geoquímica moderna: mapas de singularidade multi-elementares e a sua utilização em algoritmos de aprendizagem não-supervisionada

M. A. Gonçalves (1,2)

(1) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa; mgoncalves@ciencias.ulisboa.pt

(2) IDL – Instituto Dom Luiz

Resumo: A prospecção geoquímica de novos depósitos minerais tem de dar resposta aos novos desafios que a sua descoberta representa. A taxa de descoberta de novos depósitos é cada vez menor o que em parte se explica, não pela escassez de recursos, mas pela menor acessibilidade dos mesmos. Significa que os novos métodos de prospecção têm de identificar anomalias ténues e pouco salientes sobre um ruído de fundo elevado. Abordagens como o mapeamento da singularidade tem dado resposta a essa questão, mas limitada a um só elemento de cada vez. Desta forma é apresentado e proposto um algoritmo que combina os valores de singularidade individuais de elementos seleccionados em um só valor e, consequentemente, mapa. Estas metodologias podem, por outro lado, servir de informação adicional em algoritmos de aprendizagem não-supervisionada permitindo individualizar e classificar áreas anómalas distintas com base em dados de geoquímica.

Palavras-chave: singularidade, prospecção mineral, coeficientes de correlação, aprendizagem automática, aprendizagem não-supervisionada

Key words: singularity, mineral exploration, correlation coefficients, machine learning, unsupervised learning

Modern societies are facing the challenge to sustain the supply chain of geological resources in general and specifically of critical raw materials. The problem arises not only because of societal choices and geopolitical reasons, but also because the rate of new deposit discoveries is decreasing. The latter is less a problem of shortage of available resources than ease of access to newer, undiscovered, resources. As the easily accessible and surficial deposits are being mined out, means that newer deposits must be searched deeper into the crust which requires novel and often unconventional exploration tools (Gonzalez-Alvarez et al., 2020). Therefore, modern and future exploration projects must include a variety of methods, data, and instruments that provide a wealth of heterogeneous data requiring to be fully integrated.

One approach which started decades ago focuses on the definition of geochemical anomalies, that gradually evolved towards faint anomalies, as is expected to happen to deep seated deposits. Fractal/multifractal methods have been fundamental in providing several approaches with significant

results in several parts of the World (Cohen et. al, 2010; Zuo e Wang, 2016). One such approach is singularity mapping, which is applied to single elements (Gonçalves et al., 2018). A novel algorithm proposes the combination of metallogenetic relevant elements to be combined in a single map (Fig. 1). The algorithm uses robust correlation coefficients between targeted elements computed at local spatial scale (if number of samples is large), which are then used as weights to linearly combine each of the individual/elemental singularity value/point into a composite singularity map.

Another relevant approach that is gaining increasing importance is the availability of several machine learning methods and algorithms (Kirkwood et al., 2016; Zuo et al., 2019). Their advantage relies in the ability to combine heterogeneous data types and sources and automatically find patterns in multidimensional data, otherwise impossible for the human mind to grasp.

Machine learning algorithms may be broadly (but not singly) categorized into supervised and unsupervised. Supervised learning algorithms represent an

extraordinary challenge in geochemical exploration because labelling of data is difficult, if not useless or even impossible. Metallogenetic settings are often complex, heterogeneous, and difficult to massively sample. If exploration projects are done in uncharted and novel areas, as one would expect to occur, then there is no way of setting a label or typical geochemical signature for a target that is basically unknown in the first place. Thus, the option for unsupervised learning algorithms seems rather natural. Since the first approach is often geochemical, unsupervised learning algorithms, such as k-means or DBSCAN, provide a framework to combine singularity values (single element and combined) with geochemical databases. Preliminary results show promising and relevant results, with the potential of discriminating distinct anomalous areas.

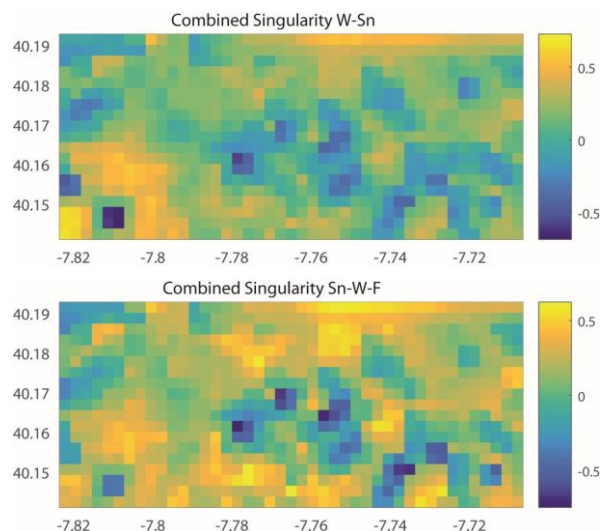
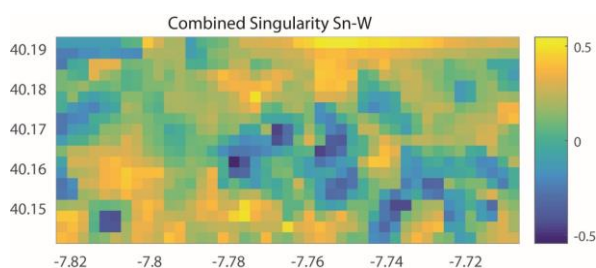


Fig. 1. Combined singularity maps for selected elements as applied to the Panasqueira Mine site (N facing upward); data from Gonçalves et al. (2018). First element in the list corresponds to the leading element (weight=1) and coefficients (weights) are calculated between the other elements and the leading element. Distinct outputs arise depending on the elements used and choice of leading element. In this example, the set Sn-W-F provides the most significant and informative map. Blue domains (negative singularities) define the anomalous zones; Panasqueira Mine is situated below the central anomalous domains, showing the effectiveness of targeting the mineralization from the analyses of the outcropping country host rocks. The anomalies in the SE domain remain to be explained.

Acknowledgments: This research has been supported by project UIDB/50019/2020- IDL grant (FCT I.P./MCTES).

References

- Cohen, D. R., Kelley, D. L., Anand, R. & Coker, W. B. (2010). Major advances in exploration geochemistry, 1998-2007. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 10, 3–16.
- Gonçalves, M. A., Mateus, A., Pinto, F., & Vieira, R. (2018). Using multifractal modelling, singularity mapping, and geochemical indexes for targeting buried mineralization: application to the W-Sn Panasqueira ore-system, Portugal. *Journal of Geochemical Exploration*, 189, 42-53.
- González-Álvarez, I., Gonçalves, M. A., & Carranza, E. J. M. (2020). Challenges for Mineral Exploration in the 21st Century: Targeting Mineral Deposits Under Cover. *Ore Geology Reviews*, 126, 103785
- Kirkwood, C., Cave, M., Beamish, D., Grebby, S., & Ferreira, A. (2016). A machine learning approach to geochemical mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, 167, 49–61.
- Zuo, R. & Wang, J. (2016). Fractal/multifractal modeling of geochemical data: A review. *Journal of Geochemical Exploration*, 164, 33–41.
- Zuo, R., Xiong, Y., Wang, J., & Carranza, E. J. M. (2019). Deep learning and its application in geochemical mapping. *Earth-Science Reviews*, 192, 1–14.

Sustainable exploration of orthomagmatic (critical) raw materials in the EU: project SEMACRET

Prospecção de matérias-primas (críticas) de origem ortomagmática na EU: projeto SEMACRET

A. P. Jesus (1), A. Mateus (1,2), M. A Gonçalves (1,2) and S. Yang (3)

- (1) Instituto Dom Luiz- IDL, ana.jesus@fc.ul.pt
 (2) Faculdade Ciências da Universidade de Lisboa-FCUL, Departamento de Geologia
 (3) Oulu Mining School, Faculty of Technology, University of Oulu, Finland

Resumo: A disponibilidade de matérias-primas críticas (MPC) relacionadas com depósitos ortomagmáticos (Co-Ni-Cr-PGE-V-Ti) na EU encontra-se presentemente confinada a duas minas na Finlândia, embora outras intrusões (ultra)máficas conhecidas revelem potencial assinalável. O projecto SEMACRET, financiado pelo programa-quadro Horizon Europe, pretende melhorar o conhecimento existente sobre sistemas mineralizados ortomagmáticos e desenvolver métodos de prospecção inovadores e não-invasivos. Adicionalmente, integra investigadores de ciências sociais que irão aferir a perceção dos cidadãos acerca da necessidade/importância da prospecção e exploração mineral, bem como do abastecimento responsável de MPC. A abordagem selecionada baseia-se na caracterização sistémica dos processos mineralizantes, procurando identificar os principais requisitos para formar um depósito mineral: uma fonte de metais (e.g. plumas mantélicas vs. manto continental sub-litosférico), um "caminho" (e.g. descontinuidades trans-litosféricas; condutas à escala da intrusão) e domínios circunscritos no seio da intrusão favoráveis à deposição mineral. Os estudos de caso distribuem-se pela Finlândia, Polónia, República Checa e Portugal (Complexo Ígneo de Beja).

Palavras Chave: Prospecção Mineral sustentável; Matérias Primas Críticas; Mineralizações ortomagmáticas.

Key words: Sustainable Mineral Exploration, Critical Raw Materials, Orthomagmatic ore-forming systems

The EU defined 30 Critical Raw Materials (CRM) which have both high supply risks and high economic importance. These materials are fundamental to the EU's industrial value chain and strategic sectors, and especially to green energy transition. Among the 30 CRM many are hosted in orthomagmatic sulfide and oxide mineral deposits. These include cobalt, nickel, vanadium, titanium, chromium, copper, and Platinum Group Elements (PGE). Currently, there are two orthomagmatic sulfide deposit in Europe (Kevitsa, Ni-Cu-Co-PGE; Kemi, Cr, Finland), whereas many regions where mafic/ultramafic complexes exist remain underexplored despite several mineral occurrences being reported.

The mineral exploration industry uses a joint approach of geological (including drilling), geophysical, and geochemical methods to delimit mineral resources and assess the economic feasibility of their exploitation. It is therefore desirable that mineral exploration is carried out with the lowest possible expenditure and impact to the environment and populations. Additionally, the low awareness of citizens regarding the need of CRM, their strategic importance to EU and the shared civilizational responsibility for their sustainable sourcing, represent

growing challenges for explorers, scientists, and policy makers. SEMACRET (www.semacret.eu) is a HEU project comprising an international consortium with multi-disciplinary expertise that aims at improving the knowledge on orthomagmatic ore-forming systems and create innovative, responsible exploration methods to find new deposits. Additionally, a group of social scientists will assess citizens awareness on the need of mining and exploration activities to ensure responsible sourcing of raw materials. The project employs the Mineral Systems Approach- MSA which, in a simplified way, acknowledges the formation of mineral deposits as an interplay between a metal source, a pathway and a sink. The application of this knowledge-driven exploration concept to orthomagmatic deposits poses many challenges namely translating the MSA components into (mappable) criteria at a regional (greenfield-Fig. 1) or local scale (brownfield- Fig. 2) Although the **source** of the targeted deposits is the mantle, the exact origin of the melts (e.g. plume versus Subcontinental Lithospheric Mantle- SCLM) has implications for magma fertility and can be obscured by subsequent crustal contamination. Conventional litho-geochemistry and isotopic systems

such as Re-Os can effectively be used to constrain the source and therefore prospectivity of the magmas. Ni-sulfide deposits form in highly dynamic, magma conduit systems, where magmas can rise quickly and interact with country rock before olivine depletes the melts in Ni.

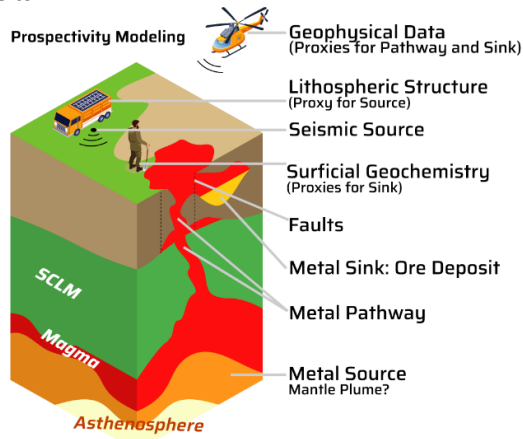


Fig. 1. Translating the Mineral System Approach to regional (green field) exploration. SCLM- Subcontinental Lithospheric Mantle

The location of the magmas **pathway** in this and other orthomagmatic mineralisation types (PGE, Cr, Ti, V) is relevant to understand the petrogenesis of their host intrusions and can be achieved by multiple techniques. Deep penetration geophysical methods are primarily employed to identify trans-crustal lineaments in the deep crust enabling magma ascent. It is paramount to recognise primitive magma domains using geochemical criteria (high #Mg, high Ni), locating overabundance of cumulates and xenoliths, or use small-scale tracers such as complex zoning in silicates and anomalously slow cooling rates using geothermometric techniques.

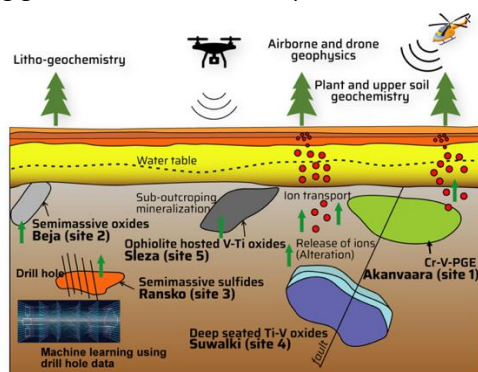


Fig. 2. Methods to be employed in local (brown field) exploration.

The **sink** corresponds to limited domains within the intrusions which are increasingly challenging to target. The best deposits occur in intrusions with a long-lasting history of heat flow and magmatic pulses. A particularly valuable tool is the simultaneous study of mineralised and barren intrusions within the same setting/region to understand the critical features that determined (the absence of) ore formation. Additional constraints to refine genetic models will be drawn from numerical modelling of magmatic flow and HT sulfide-melt experiments, whereas surface geochemistry (soil and plants) plus ground and airborne geophysics will be employed to delimit mineralised areas in reference sites. Prospectivity modelling and machine-learning approaches, making use of regional and deposit-scale datasets, will ultimately enable outlining robust exploration vectoring tools to be employed in other settings.

Research will be conducted at five reference sites: Finland (Akanvaara layered intrusion; V-Cr-PGE); Poland (Sleza ophiolite and Sulwaki Massive anorthosite; Fe-Ti-V); Czech Republic (Rankso Massif, Ni-Cu-Co-PGE); and Portugal (Beja Igneous Complex) representing different geological, social and environmental conditions. Building upon previous work from IDL/FCUL researchers, SEMACRET will assess the potential for Fe-Ti-V oxides in various areas of the Beja Layered Gabbroic Sequence, as well as the diorite envelope extending to the NW (Cuba Alvito Complex). An heli-transported geophysical campaign (EM, GravMag) will soon be deployed, later followed by ground IP to elucidate the relationship between the non-conformable oxide masses and host gabbros. Using these known areas as training sets, surface geochemistry will be used to identify additional geochemical anomalies. Mineralogical, geochemical, and isotopic studies will monitor chemostratigraphy and redox-sensitive elements to trace fractionation paths whereas a large-scale Nd-Sr-Pb survey will enable to delimit crustal domains of variable crustal contamination. The age and geochemistry of country-rocks will also be investigated to provide precise constraints to modelling crustal contamination. Although olivine chemistry suggests unfavourable conditions for magmatic sulfide generation during LGS main magmatic stage (which may be related either with sulfide removal at depth or shallow flux-melting processes), the potential for magmatic sulfide will also be assessed.

Acknowledgments: SEMACRET is a HEU Project funded by the European Union under grant agreement #101057741. This research has been supported by Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds (PIDDAC) - UIBD/50019/2020-IDL.

Organic petrography applied to the study of thermal maturation of black shales and implications to Cu mineralization in Ossa Morena Zone

Petrografia orgânica aplicada ao estudo da maturação térmica de xistos negros e implicações nas mineralizações de Cu da Zona Ossa-Morena

V. Laranjeira (1), J. Ribeiro (2,3), N. Moreira (4), P. Nogueira (5) e D. Flores (6)

(1) Instituto de Ciências da Terra - Pólo Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, vanessa.laranjeira@fc.up.pt.

(2) Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra.

(3) Instituto Dom Luiz.

(4) Departamento de Geociências e Instituto de Investigação e Formação Avançada (IIFA), Universidade de Évora; Instituto de Ciências da Terra - Pólo Évora.

(5) Departamento de Geociências, Universidade de Évora; Instituto de Ciências da Terra - Pólo Évora.

(6) Instituto de Ciências da Terra - Pólo Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Sumário: A refletância da matéria orgânica é um parâmetro petrográfico robusto na determinação da maturação térmica de rochas permitindo estimar paleotemperaturas e avaliar a evolução térmica associada aos processos que afetaram estas rochas. Este trabalho tem como objetivo determinar a maturação térmica de xistos negros espacialmente associados a mineralizações de Cu na Faixa Metalogénica de Sousel-Barrancos (Zona Ossa Morena). Os resultados da refletância da matéria orgânica destas rochas permitiram estimar paleotemperaturas de até cerca de 350°C e identificar um padrão irregular de maturação associado à circulação de fluidos hidrotermais característicos da instalação de veios mineralizados de Cu em Miguel Vacas.

Palavras-chave: Miguel Vacas, xistos negros, matéria orgânica, refletância, paleotemperatura, fluidos hidrotermais.

Key words: Miguel Vacas, black shales, organic matter, reflectance, paleotemperature, hydrothermal fluids.

The maturation of dispersed organic matter in rocks, such as black shales, developed after its deposition, resulting from the burial history, controlled by the increase and duration of heat and pressure (Suárez-Ruiz et al., 2012), and other geological processes such as magma installation, burial, metamorphism, and circulation of hydrothermal fluids. The maturation of organic matter (OM) in rocks can be determined based on the measurement of their reflectance, which can be used to estimate the paleotemperature (Barker & Pawlewicz, 1994).

The detailed characterization of organic matter in black shales and the evaluation of the time-temperature history in ores or host rocks can be used to identify and understand ore deposits genesis and/or other processes affecting these deposits.

This work aims to estimate the thermal maturation and paleotemperatures of black shales spatially associated with Cu deposits in Ossa-Morena Zone (OMZ), and identify implications related to the deposit formation.

In OMZ, specifically in Sousel-Barrancos metallogenic belt, several Cu-Fe (\pm Zn \pm Pb \pm Au) vein-type occurrences and deposits are known. The Cu-Fe veins are composed of quartz-carbonate and sulphides, hosted in Paleozoic metasedimentary series (e.g., Mateus et al., 2013). There are two important clusters of Cu occurrences: (1) Alandroal cluster, (Bugalho, Mociços, Zambujeira and Miguel Vacas), and (2) Barrancos cluster (Minancos, Aparis, Botefa and Defesa das Mercês) (Mateus et al., 2013). Most of the veins are hosted in black and grey shales, sometimes with interbedded lydites and black quartzites of Silurian to Lower Devonian ages. With respect to the genesis of these veins, it is considered that the mineralized structures are related to the hydrothermal activity contemporaneous of late Variscan brittle deformation stages (Mateus et al., 2013).

A total of 29 samples of black shales were collected in 5 exploration drill-cores of the Miguel Vacas deposit. Samples were collected at different depths and the proximity to mineralized veins were controlled during

sampling. The samples were dried and crushed to 1 mm size-grains, mounted in polished blocks for petrographic analysis, in accordance with ISO 7404-2 (2009) standard. The random and maximum reflectance (R_r and R_{max} , respectively) were measured following the ASTM D7708-14 (2014) standard. To evaluate the maturation of the OM, the classification proposed by Kwiecinska & Petersen (2004) based on the R_{max} values was considered. The paleotemperatures was estimated using Barker & Pawlewicz (1994): $T_{max} = (\ln R_r + 1.19)/0.00782$. Reflectance measurements were carried out in vitrinite-like particles and graptolites since vitrinite is absent in rocks dated from Silurian. The equivalent vitrinite reflectance for the studied samples was calculated according to Petersen et al. (2013) with the equation: $VR_{eq} = 0.73 \times R_{grap} + 0.16$. The maturation of OM varies between the range of anthracite and semigraphite, although most of samples show a thermal maturation of anthracite

rank. The estimated paleotemperatures for the studied samples range from 223°C to 351°C. Samples from drill-cores 2, 3, and 5 do not exhibit variable maturation of OM with depth, evidencing a heterogeneous pattern. On the other hand, in drill-cores 1 and 4, the maturation seems to show an increasing trend with depth. The irregular distribution of maturation with depth in the Miguel Vacas drill-cores, sometimes with lower R_r underlying higher values, is attributed to the circulation of hydrothermal fluids. Irregular profiles are characteristic of OM matured by fast heating due to irregular heat distribution in hydrothermal-geothermal systems (Glikson et al., 2000). The results also reveal a lateral variation of OM maturation, supporting the effect of circulation of hydrothermal fluids related with Cu-ore deposit genesis. The values higher paleotemperatures may indicate the proximity to the mineralized vein or local veining.

Acknowledgments: This work is supported by national funding awarded by FCT - Foundation for Science and Technology, I.P., projects UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020. V. Laranjeira thanks the funding of the PhD scholarship (SFRH/BD/137567/2018) awarded by FCT and the EU, through national funds and the European Social Fund (ESF). N. Moreira and P. Nogueira acknowledge the contribution of the project ZOM-3D (ALT20-03-0145-FEDER-000028), funded by Alentejo 2020 through the FEDER/FSE/FEEI.

References

- ASTM D 7708-14 (2014). Standard Test Method for Microscopical Determination of the Reflectance of Vitrinite Dispersed in Sedimentary Rocks. ASTM International.
- Barker, C.E. & Pawlewicz, M.J. (1994). Calculation of vitrinite reflectance from thermal histories and peak temperatures - a comparison of methods. *In*: P.K. Mukhopadhyay & W.G. Dow (eds.). *Vitrinite reflectance as a Maturity Parameter. Applications and Limitations*. ACS Symposium Series, 216-229.
- Glikson, M. & Mastalerz, M. (2000). Organic Matter and Mineralisation: Thermal Alteration, Hydrocarbon Generation and Role in Metallogenesis. Springer Dordrecht.
- ISO 7404-2 (2009). Methods for the petrographic analysis of coals -- Part 2: Methods of preparing coal samples. International Organization for Standardization.
- Kwiecinska, B. & Petersen, H.I. (2004). Graphite, semi-graphite, natural coke, and natural char classification-ICCP system. *International Journal of Coal Geology* 57, 99-116.
- Mateus, A., Munhá, J., Inverno, C., Matos, J., Martins, L., Oliveira, D., Jesus, A. & Salgueiro, R. (2013). Mineralizações no sector português da Zona de Ossa-Morena. *In*: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J. C. Kullberg (eds.). *Geologia de Portugal, Volume I - Geologia Pré-mesozóica de Portugal*. Escolar Editora, 577-615.
- Petersen, H.I., Schovsbo, N.H. & Nielsen, A.T. (2013). Reflectance measurements of zooclasts and solid bitumen in Lower Paleozoic shales, southern Scandinavia: Correlation to vitrinite reflectance. *International Journal of Coal Geology* 114, 1-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2013.03.013>.
- Suárez-Ruiz, I., Flores, D., Mendonça Filho, J.G. & Hackley, P.C. (2012). Review and update of the applications of organic petrology: Part 2, Geological and Multidisciplinary Applications. *International Journal of Coal Geology* 98, 73-94.

Pegmatitos graníticos de Namirroé – Nuaparra, Zambézia, Moçambique – Estrutura e mineralogia

The Namirroé – Nuaparra granitic pegmatites, Zambezia, Mozambique – Structure and mineralogy

C. Leal Gomes (1)

Lab2pt e Escola de Ciências - Universidade do Minho, Gualtar, 4710-057 BRAGA, ensino2020.geo@gmail.com

Summary: *At the core of the Granitic Pegmatite Province of Zambezia in Mozambique, in the Alto Ligonha Pegmatite District, a group of distinct types of pegmatites outcrop and are trapped by the same set of strike slip and overthrust structures. The most frequent are beryllium-rich with some Bi and Nb-Ta oxides (with anomalous contents of W). Their primordial inner structure is well preserved — giant crystals of K-feldspar are conspicuous, as is rose quartz in huge quantities at the core. At close proximity, LCT typical pegmatites do occur. On the basis of mineralogy, structure, and cartography, and considering the paragenetic contrasts and the emplacement in the same set of megascale structures of tectonic transport, it is reasonable to accept that this area corresponds to a material frontier between distinct districts or pegmatite fields.*

Key words: *pegmatite, Zambezia, LCT, zoning, paragenesis*

Palavras-chave: pegmatito, Zambézia, LCT, zonalidade, paragénese

Na região de Nuaparra – Namirroé estão identificados desde o início do século XX numerosos pegmatitos graníticos que têm sido incluídos no conjunto dos pegmatitos do Alto Ligonha (Barros & Vicente, 1963), equivalente a um distrito pegmatítico, o qual, por sua vez, é parte da província pegmatítica da Zambézia. Segundo Leal Gomes et al. (2008), em harmonia com a disposição das estruturas de transporte tectónico a Província Pegmatítica da Zambézia tem uma organização curvilínea, zonada, em que o distrito pegmatítico do Alto Ligonha assume uma posição central e, possivelmente, mais apical no conjunto do empilhamento de mantos transportados.

Na área estudada as rochas regionais são atribuídas ao complexo de Molocué (Grupo de Molocué, segundo AQUATER, 1983) e constituídas por gnaisses compósitos, derivados de sequências meta-pelíticas e meta-psamíticas, também com termos ortoderivados e intercalações de rochas meta-carbonatadas e meta-vulcanogénicas de feição primitiva bimodal.

Foi efectuada uma cartografia temática, considerando em especial a anatomia dos pegmatitos, os quais também foram sujeitos a análise estrutural detalhada e cartografia de alta resolução. Os seus minerais, separados por contraste de propriedades físicas, foram sujeitos a identificação por difractometria de RX e por espectrometria de dispersão de energias em microscópio electrónico de varrimento.

Em termos gerais os pegmatitos estão instalados em carreamentos precoces ou então relacionam-se com cisalhamentos transcorrentes tardios. A reactivação

cisalhante e/ou relaxação dessas estruturas desencadearam sucessivos ambientes dilatacionais, os quais, por sua vez, acolheram diferenciados pegmatíticos, seguindo-se múltiplos estádios de compressão / descompressão e uma evolução hidrotermal sobreposta e polifásica.

O grupo pegmatítico de Namirroé-Nuaparra representa um conjunto multicomposicional com feições paragenéticas diferenciadas (LCT e híbridas / LCT/NYF), acolhidas num mesmo volume encaixante, à medida que também se diferenciam os sítios de acolhimento gerados pelos cisalhamentos tangenciais a transcorrentes.

Distinguem-se dois polos com tipos paragenéticos contrastantes (fig 1):

- *polo oriental* - três cortas mineiras a céu-aberto incidem sobre pegmatitos com berilo, Nb-tantalatos ricos em molécula columbítica (com termos wodginíticos portadores de W) e “spots” dispersos de bismutite – os pegmatitos que este polo representa são potássicos com zonalidade interna primária caracterizada por um núcleo com grandes volumes de quartzo róseo e gigafeldspatos com disposição em pente na zona intermédia; nas zonas marginais ocorrem granada Mn-almandina e alguma turmalina negra da variedade escolrite.

- *polo ocidental* – está expresso numa corta mineira ampla mas pouco profunda, incidente sobre um pegmatito de grandes dimensões com feição LCT muito marcada - apresenta micas litínicas (lepidolite, polilitionite, trilitionite e moscovite litínica), berilo alcalino (Cs) abundante, topázio frequente e Nb-

tantalatos raros mas enriquecidos em molécula tantalítica (microlite e Sb-tantalite estão também presentes); a turmalina é frequente, com termos composicionais que variam desde a composição da escorlite até à composição de elbaites diversificadas, foitite e lidicoatite; a unidade marginal, a muro, apresenta granada espessartite e ganite.

Estes tipos paragenéticos contrastantes, localizados no mesmo compartimento de rochas regionais, indiciam a reactivação, em diferentes episódios de um fulcro cisalhante com expressão a megaescala que deve ter sofrido deslocamentos desde o Kibariano ao Pan-Africano. Não parece existir uma ligação cogenética entre os diferentes tipos sendo de admitir que pertencem a linhagens também distintas. Os corpos mais precoces são os mais ricos em mineralizações de Be, Nb, Bi e T.R. Os mais tardios são mais ricos em mineralizações de Li, Cs e Ta, podendo também apresentar Bi. Critérios estruturais e paragenéticos sugerem que pelo menos os primeiros podem estar mais directamente relacionados com a fusão parcial e anatexia primitiva. Os segundos podem derivar de uma fracção residual a partir de magmas graníticos especializados. Coloca-se como hipótese que esta diversidade de famílias de pegmatitos da classe de elementos raros, alojados num mesmo espaço, tectonicamente individualizável, seja indício do afloramento de uma zona de fronteira estrutural entre distritos ou campos pegmatíticos vizinhos, facto de alguma importância atendendo a que os limites das divisões regionais são quase sempre deduzidos e raramente materializados por contrastes abruptos de estrutura e paragénese.

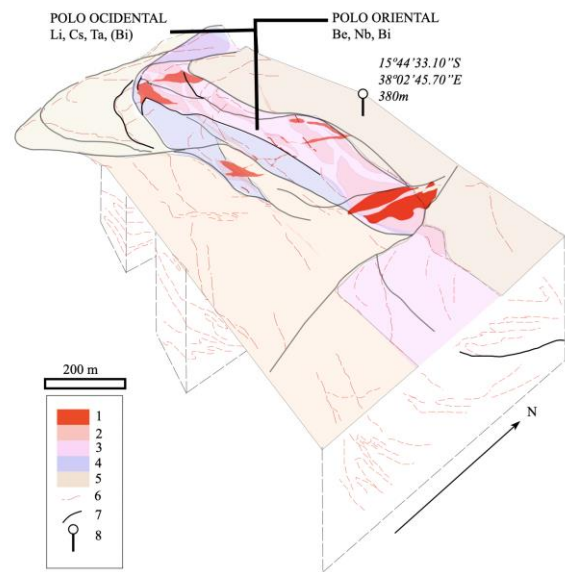


Fig. 1 Generalização 3d da sucessão de mantos transportados do Grupo Molocué (AQUATER, 1983) e pegmatitização associada no compartimento Namirróé-Nuaparra do distrito pegmatítico do Alto-Ligonha. 1 – pegmatitos; 2 – rochas gnáissicas com restites e veios, petigmáticos ou não, quartzo-turmalínicos e pegmatíticos, também com turmalina; 3 – gnaisses heterogéneos a migmatitos com turmalina; 4 – rochas migmatíticas, com intercalações de anfibólitos e micaxistos anfibólico-turmalínicos (anfíbola sódica) 5 - gnaisses regionais poligénicos, incluindo ortognaisses com ortóclase, biotite e magnetite; 6 – superfícies metamórficas penetrativas incluindo, foliações gnáissicas (“gnaissosidade”), “schlieren” micáceo-anfibólicos, venulações leucocratas de segregação e também xistosidades; 7 – descontinuidades dúcteis com critérios de deslocamento indicando transporte tectónico variável de tangencial a transcorrente, por vezes materializados por falhas com ocasionais brechas e veios quartzosos tardios, portadores de mineralização aurífera; 8 – vértice para referência geográfica do compartimento esquematizado.

Referências

- AQUATER (1983) Cartografia geológica e prospecção mineira e geoquímica nas províncias de Nampula e Zambézia, I, II, III. Relatório Final. *Unp. Report. DNG Library reference N°1244, Maputo.*
- Barros, A. F. & Vicente, C. M. (1963) - *Estudo dos Campos Pegmatíticos da Zambézia*. Relatório Interno da Comissão de Energia Nuclear (Portugal).
- Leal Gomes, C., Marques, J., Dias, P. & Costa, J. C. (2008) - *Análise descritiva das unidades portadoras de mineralização tantalífera em pegmatitos do sul da província Zambeziana (Moçambique)*. 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 2º Congresso de Engenharia de Moçambique, Maputo, 1-23.
- Leal Gomes, C. (2015) Geologia e mineralogénese da Área Mineira de Namirróé – Nuaparra, ZAMBÉZIA Fundamentos para as estimativas de recursos - *Relatório inédito p/ c/ JALF^{lda}, GONDWANA, DNM – MIREM (MOÇAMBIQUE)*.

Estrutura, “petrofabric” e paragénese do índice tungsteno-aurífero de Ruivos - rede de cisalhamentos intra-graníticos de Ponte da Barca

High resolution structure, fabric and paragenesis of the Ruivos tungsten-gold-bearing spot - inner-granite shear zone networking of Ponte da Barca, Northern Portugal

C. Leal Gomes(1), A. Souto(2), L. Fernandes(3) e P. Araújo(4)

(1) Lab2PT - Universidade do Minho, Gualtar, 4710-057 Braga Portugal, ensino2020.geo@gmail.com

(2) Agência Espacial Portuguesa – Portugal Space

(3) Geonatur, Penela

(4) Mestrado em Ordenamento e Valorização de Recursos Geológicos – Universidade do Minho

Summary: *In Ponte da Barca region, inner-granite, the intersections of multistage shear zones, N0°-7°E / N70°E, are the main focus of hydrothermal Au + As mineralization, especially when a third set of ruptures (~N30°E), reticulates the adjacent volume of massif. The detailed study of the Boivão – Ruivos shear junction showed that the more varied are the strikes and dips of the ruptures that affect a granite compartment, the greater is the diversity of mineralizations, which may include, early scheelite associated with microcline and albite and later gold ± silver ± bismuth, tellurides and selenides, associated with adularia. The petrofabric analysis allowed to determine successive stages of gold liberation from arsenopyrite related to progressive deformation.*

Key words: *arsenopyrite, polyphasic cataclasis, shear zone junction, gold, tungsten*

Palavras-chave: arsenopirite, cataclase polifásica, junção de zonas de cisalhamento, ouro, tungsténio

Na região de Vila Verde a Ponte da Barca, são conhecidos vários indícios arqueológicos de mineração de ouro, activa, episodicamente, desde o período de ocupação romana da Península Ibérica até ao início do século XX. Trata-se de pequenos depósitos venulares de quartzo com sulfuretos, associados a rupturas tardi a pós-variscas, definidas em granitos essencialmente biotíticos de grão médio, por vezes porfiróides (Cotelo Neiva & Pastora Chorot, 1945). As estruturas mineralizadas apresentam azimutes variáveis com as famílias mais frequentes segundo, ENE-WSW, NE-SW e N-S.

Foi colocada a hipótese de se verificar o acolhimento preferencial das mineralizações, especialmente de ouro ± arsenopirite em ganga quartzosa, em fulcros de deformação frágil, localizados na junção de falhas com diferentes atitudes, tal como se verifica em outras situações nas proximidades (Araújo & Leal Gomes, 2014). Um reconhecimento sistemático dos indícios conhecidos e de outros que, entretanto, foram sendo revelados por diversos trabalhos de escavação associados ao melhoramento e novo traçado de infraestruturas rodoviárias, sugere que de facto parece haver um incremento da massa de sulfuretos em junções de fraturas e falhas. Estas junções e rupturas caracterizam-se por terem expressão geométrica e orientações similares desde o

nível de organização regional (cartográfico) até à escala do afloramento e da amostra de mão (em colheitas orientadas). Tais junções podem ainda ser encaradas como nós da rede de cisalhamentos regionais, dúcteis-frágeis a frágeis, particularmente bem expressos em contexto intra-granítico.

Uma análise estrutural detalhada foi dedicada a um destes nós cartográficos, considerado representativo (Fig. 1), o qual se expressa como um enxame de veios e juntas preenchidas ou com brechificação associada, situado entre Boivães e Ruivos. Amostras orientadas colhidas nesta área foram sujeitas ao estudo do “fabric” e da paragénese, onde predominam arsenopirite e quartzo.

Cartograficamente, corresponde-lhe uma junção entre desligamentos N70°E e N7°E, localmente reticuladas com feixes de venulações, N33°E (com escassa expressão cartográfica, mas com grande frequência relativa à escala do afloramento e da amostra de mão orientada). O azimute NW-SE, típico do Varisco médio (foliações exo-graníticas e desligamentos), é transectado (Fig. 1).

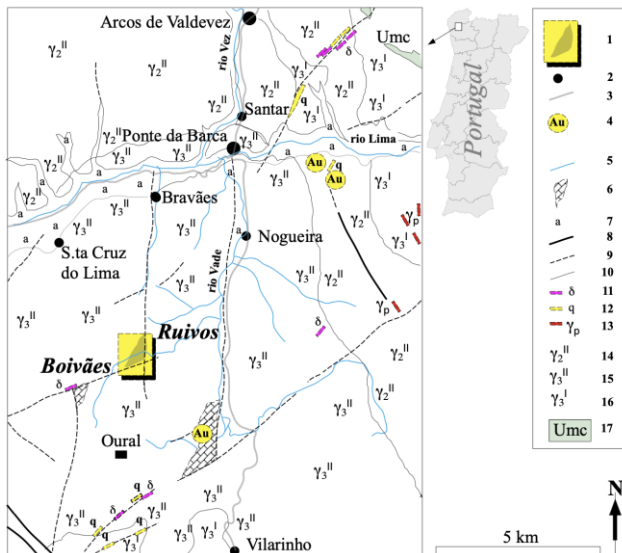


Fig. 1. Localização do ponto nodal Boivães – Ruivos na rede de cisalhamentos intra-graníticos de Ponte da Barca (1). 2 – localidades para referência geográfica; 3 – estradas; 4 – ocorrências conhecidas de ouro (Cotelo Neiva & Pastora Chorot, 1945); 5 – rios principais da região; 6 – junções nodais triangulares com maior massa de mineralizações de arsenopirite e ouro em quartzo; 7 – depósitos siliciclásticos recentes de tipo aluvial ; 8 – acidente tectónico de 1ª ordem; 9 – falhas com mineralizações difusas de arsenopirite aurífera; 10 – limites geológicos; 11 – filões doleríticos e de lamprófirios; 12 – filões de quartzo com possonça superior a 1 m; 13 – aplito-pegmatitos e pegmatitos filonianos; 14 – granito de duas micas de grão médio; 15 – granito essencialmente biotítico de grão médio a grosseiro, frequentemente porfiróide; 16 – granito essencialmente biotítico de grão médio; 17 – retalhos em “roof pendent” da Unidade Minho Central, tal como é descrita em Pereira (1992).

A todas as escalas de análise especialmente em secções polidas orientadas, observadas ao microscópio óptico, particularmente em luz reflectida e ao microscópio electrónico em imagens de electrões retrodifundidos, nota-se que as junções de

cisalhamentos esquerdos, N33°E e direitos, N0°-7°E, são as que estão preferencialmente mineralizadas. Materializando constatações de Cerveira (1952), relativas à presença de scheelite nos mesmos depósitos do ouro, observa-se cataclase polifásica e ocorrência de scheelite e arsenopirite com microinclusões de “electrum” e “maldonite” ou ouro e sufossais de Pb, Bi e Ag (Fig. 2). A diversificação paragenética tardia progride no sentido da exsudação de Au na forma nativa, alojada em aberturas transtensivas, por vezes em associação com adulária ou em massas de escorodite supergénica.

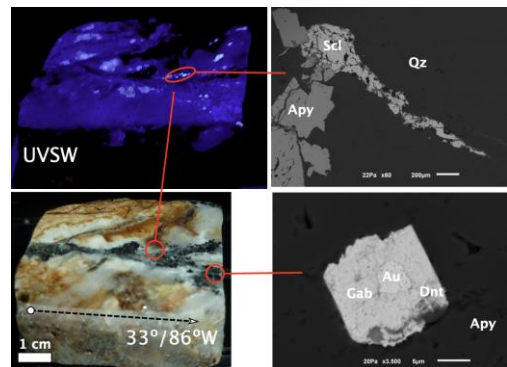


Fig. 2. “Chip sample” orientada com mineralização metálica em junção de rupturas e sua expressão em microscópio electrónico de varrimento, em modo, electrões retrodifundidos. Apy – arsenopirite; Qz – quartzo; Scl – scheelite; Au - (Au₈₀ Ag₂₀); Dnt – dantopaite; Gab – galenobismutite; UVSW – imagem obtida com incidência de luz ultravioleta de baixo comprimento de onda.

O “spot” cartográfico triangular Boivães – Ruivos é interpretado como sendo uma das junções ou nós da “shear zone network” de Ponte da Barca, onde está alojada, preferencialmente, a expressão tardia de mineralizações do tipo “orogenic gold”.

Referências

- Araújo, P. & Leal Gomes, C. (2014). Análise geométrica e cinemática das partículas de Au acolhidas em arsenopirite no corredor de cisalhamento de Argas-Cerquido-Serra de Arga (Minho). *Comunicações Geológicas* 101, Especial I, 243-246.
- Cerveira, A. M. (1952) - *Relações entre os jazigos hipogénicos portugueses de ouro e de tungsténio*. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal. Sociedade Geológica de Portugal. Vol. X, p. 133-144.
- Cotelo Neiva, J.M. & Pastora Chorot, J.L. (1945). Alguns jazigos de ouro do Alto-Minho. *Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro* 1, 190-265.
- Pereira, E. (Coord.) (1992) – Notícia explicativa da Folha 1 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Wolframite chemical composition as an indicator of different depositional mechanisms for the W-mineralization within the Santa Helena Breccia (Borralha)

A composição química da volframite como indicador dos mecanismos de deposição da mineralização tungstífera na Brecha de Santa Helena (Borralha)

L. Lima (1), A. Guedes (2) I. Bobos (2) e F. Noronha (2)

(1) ICT- Polo Porto, Departamento Geologia, Ambiente e Ordenamento de Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n 4169– 007 Porto, Portugal, luis.lima@fc.up.pt,

(2) ICT- Polo Porto, Departamento Geologia, Ambiente e Ordenamento de Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n 4169– 007 Porto, Portugal

Sumário: A classificação do W como um metal de alta importância por parte da UE, motivou a reavaliação de depósitos anteriormente explorados como a Brecha de Santa Helena na antiga mina da Borralha. Este depósito foi classificado como uma brecha de colapso até que recentemente uma campanha de sondagens revelou a intrusão de um material leucocrata de grão fino nos seus níveis mais profundos. O principal objetivo deste trabalho é compreender a origem metalogénica desta matriz leucocrata através da assinatura geoquímica da volframite. Para tal, um conjunto de amostras com W foi recolhida a diferentes profundidades e estudada através de microscopia e EPMA. Estas análises permitiram perceber que a mineralização de W neste depósito varia o seu ratio H/F com a profundidade. Assim, as deposições mais superficiais estão relacionadas com mecanismos de interação fluido/rocha e as deposições mais profundas onde a matriz leucocrata é o principal vetor mineralizante estão relacionados com um fluido que se desenvolveu a partir de um corpo ígneo.

Palavras-chave : volframite, brecha de injeção, mecanismos de deposição, hubnerite, ferberite

Key words: wolframite, injection breccia, deposition mechanism, hubnerite, ferberite

Introduction

The European Union established W as an element of high economic importance and high supply risk. To answer this challenge, and since recycling, although desirable, is far to be able to sustain the demand it is necessary for Europe to discover new resources, and to learn how to re-evaluate deposits already mined such as the Borralha deposit.

The Santa Helena breccia (SHB) is located in the old Borralha mine. It is a subvertical structure with an elliptic shape striking N-S and being known down to 200m depth (Fig.1). This breccia body is in contact between the Central Iberian Zone and the Galiza Trás-os-Montes Zone, in the contact between the Borralha granite and metasedimentary Silurian rocks. The elements of the breccia are identical to the surrounding rocks and cemented by hydrothermal quartz. Noronha (1979) classified the SHB as a collapse breccia. More recently (2017), a core-drilling program revealed that this breccia is intruded by a fine-grained leucocratic material acquiring an injection breccia aspect. Recent petrographic studies revealed that this leucocratic matrix is mainly composed of muscovite, potassic feldspar, quartz, and fine grained wolframite.

The logging of this new core from the Santa Helena Breccia (SHB) revealed that the leucocratic matrix is more evident in the deeper levels of this body being the main type of mineralization in this area.

The main goal of this study is to understand the metallogenic origin of the leucocratic matrix composing the injection breccia through the geochemical signature of wolframite.

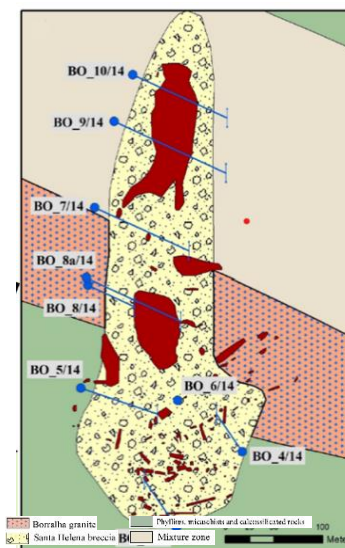


Fig. 1. Plan of the Santa Helena Breccia, with the performed drill-holes (blue line).

Methodology and Results

To accomplish the proposed goal, a set of W-mineralized samples were collected along the different drilling cores at various depths. These samples were then studied using optical microscopy, petrography and electron microprobe analyses (EPMA, model CAMECA SX-100 - Oviedo University) to study the W-mineralization. From the geochemical results, the H/F (hübnerite/ferberite) ratio proposed by Baumann & Starke (1964) was calculated to be used as an indicator of the mechanism for the wolframite deposition within the isomorphic wolframite series. The geochemical data is listed in table 1.

Table 1: Average geochemical data obtained on wolframite of SHB

Sample	Depth	WO ₃	FeO	MnO	H/F
BO7_174	174	76.3	10.2	13.2	56.5
AM_11	173.2	76.0	12.1	11.4	48.4
AM7	132	76.2	14.5	9.2	39.0
Bo12_12	127	76.4	12.8	10.5	45.1
Bo12_114A	114	76.3	14.7	8.7	37.0
BoL11	104	76.4	15.6	8.0	33.8
BO_L_10	96	77.9	16.1	5.9	26.9
BO-6-84A	84	76.8	16.9	6.2	26.7

Discussion and Conclusions

The results show that the wolframite from BSH has a wide range of chemical composition that varies with the depth. Regarding the H/F ratio a H/F ratio > 60, indicates that wolframite precipitates from an Mn-rich magmatic fluid evolving under a fluid-buffered path (Heinrich, 1990); a H/F ratio between 40 and 60, indicates that wolframite precipitates from a fluid buffered by granite/fluid interactions (Smith et al., 1996); and for a H/F ratio < 40, wolframite precipitates from a fluid derived from country rocks with a

significant non-magmatic signature (Lecumberri-Sanchez et al., 2017).

Plotting the depth of wolframite samples versus its H/F ratio (Fig. 2), it is possible to observe a zonation in the SHB according to the type of wolframite deposition mechanism, with the shallow W-mineralization (between 70 and 95m) related to a deposition due to a fluid rock interaction mechanism, with an important country rock signature with the Fe from the hydrothermal fluid coming from surrounding rock. The wolframites from depths between ~95 m and 115 m showing a mechanism of deposition typical of a fluid/granite interaction similar to the greisen mineralization characteristic of medium temperature rock-buffered hydrothermal systems with a strong magmatic signature. The wolframites from depths higher than ~150 m show a deposition mechanism from a magmatic Mn-rich fluid evolved from igneous bodies such as rare metal granites (RMG).

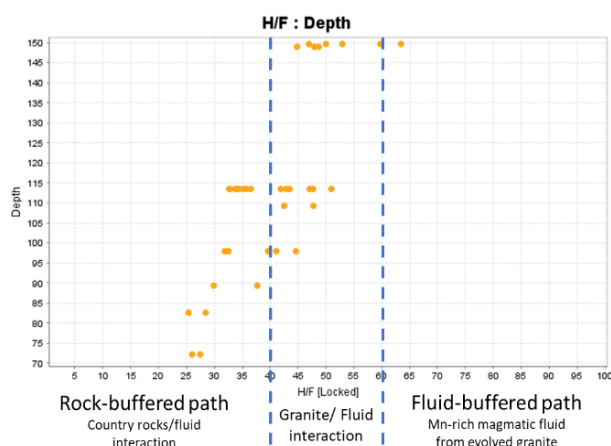


Fig. 2. Environments of W deposition revealed by H/F ratio versus deep of sample collection.

Once in the deepest levels of the SHB breccia the W-mineralization is mainly present in the leucocratic matrix of the injection breccia and this material is similar to RMG type probably being a differentiation phase from a regional granite.

Acknowledgements: This work was supported by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) project UIDB/04683/2020 - ICT (Institute of Earth Sciences). Lima, L is financed by FCT through the PhD. scholarship SFRH/BD/144894/2019.

References

- Baumann, L. & Starke, R., 1964. In: *Breitag zur Verteilung der H/F Koeffizienten minerhalb der Wolframitlagerstätte Pechtelgrün auf Günd neuer röntgenographischer Untersuchungen*. Bergakademie, pp. 79–82.
- Heinrich, C.A., 1990. The chemistry of hydrothermal tin (-tungsten) ore deposition. *Economic Geology*. 85, 457–481.
- Lecumberri-Sanchez, P., Vieira, R., Heinrich, C.A., Pinto, F., Wälle, M., 2017. Fluid-rock interaction is decisive for the formation of tungsten deposits. *Geology* 45, 579–582.
- Noronha F. (1979) Les brèches du gisement de tungsten de Borralha (Nord Portugal). Quelques données pour leus classification. *Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico da Faculdade de Ciências do Porto*. Porto volume CXI, 188.
- Smith, M., Banks, D.A., Yardley, B.W. & Boyce, A., 1996. Fluid inclusion and stable isotope constraints on the genesis of the Cligga Head Sn-W deposit, SW England. *European Journal of Mineralogy*. 8, 961–974.

Evolução e tendências do mercado de caulino em Portugal

Evolution and trends of the kaolin market in Portugal

J. V. Lisboa (1) e J. Carvalho (1)

(1) LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, vitor.lisboa@lneg.pt

Summary: *The evolution of the Portuguese kaolin market shows a production growing trend with peaks and troughs, generally more sensitive to national economic crises due to the fact that consumption is mainly domestic. Imports, which were very low until the 1980s, increased until the end of the following decade, but subsequently tended to gradually decline. Exports show growth from the beginning of the century with subsequent stabilization. The relationship between production and apparent consumption from 2010 onwards shows a surplus production of kaolin, suggesting that part of the exploited kaolin is not being sold. The problem is not due to an over-exploitation of resources, but probably to the need for a more selective exploitation with an impact on the quality of the kaolin and the full use of the exploited raw materials. Given the current sociopolitical situation, an increase in national exports of kaolin is expected.*

Key words: kaolin, production, import, export, apparent consumption

Palavras-chave: caulino, produção, importação, exportação, consumo aparente

A evolução do mercado de caulino português mostra que até 1970 a produção se situou sempre abaixo das 50.000 t/ano, tendo o desenvolvimento económico durante a década de 70 desencadeado uma tendência de aumento da produção (Velho & Gomes, 1998). De 1984 a 1990, os níveis de produção estabilizaram e a partir de 1990 registou-se um aumento progressivo, até ao final do século passado. Uma forte queda seguida de estabilização durou até 2006 e, a partir de então, a tendência geral é crescente, com picos, em 2011-2012 e 2018, interrompido pelo efeito pandémico (2019-2020), já ultrapassado (Fig. 1).

As importações de caulino, muito baixas até meados da década de 80, registaram uma tendência crescente a partir de então, seguido de um período de decréscimo e estabilização até cerca de 2006. Depois disso, um ligeiro decréscimo e estabilização, com novo decréscimo, provavelmente associado à pandemia (Fig. 1).

Relativamente às exportações, são insignificantes até ao final do século XX, mas a partir de então observa-se uma tendência de aumento que tende a estabilizar com picos e recuos a partir de 2012 até ao presente (Fig. 1).

A curva de consumo aparente (produção+importação-exportação) esteve sempre abaixo da curva de produção (saldo negativo exportações-importações), mas a partir de 2010 a produção supera o consumo aparente, relacionado com significativo aumento das exportações e

refletindo também, uma produção excedente de caulino (Fig. 1).

Este excedente, dever-se-á a qualidade inadequada de parte do caulino explorado para a cerâmica branca, que é o principal setor cerâmico português consumidor desta matéria-prima.

Há uma tendência cíclica de produção, em que os recuos costumam ser mais sensíveis a períodos depressivos posteriores a crises económicas nacionais, do que a crises económicas mundiais. Isso está relacionado ao facto de o grosso da produção de caulino ser direcionada para o mercado nacional e daí, a produção nacional não ser imediatamente afetada por crise económicas mundiais.

Concluindo, é reconhecida nas últimas décadas uma tendência crescente de produção com flutuações cíclicas, que é admissível ser mantida, condicionada principalmente por contingências externas e qualidade do caulino. De facto, o cenário atual sugere que parte do caulino explorado não está a ser comercializado. O problema não se deverá a uma sobre-exploração dos recursos, mas provavelmente à necessidade de uma exploração mais seletiva evitando procurar ganhos volumétricos com consequente perda de qualidade dos lotes, portanto visando apenas o caulino entre parâmetros de qualidade pré-estabelecidos. Soluções sustentáveis incluem também o aproveitamento integral das matérias-primas exploradas: o beneficiamento do caulino é uma exigência usual e pode ser viável para subprodutos da exploração, o que aliás já é prática,

mas a procura de novos campos de aplicação para subprodutos de menor qualidade deve ser prioridade.

Considerando riscos sociopolíticos, e apesar de as importações nacionais de caulino não terem dependência significativa da Ucrânia, vários países produtores europeus dependiam do fornecimento de caulinos ucranianos, entretanto sujeitos a interrupções, pelo que será de esperar um aumento

nas exportações nacionais e assim, os produtores nacionais devem estar preparados para esta muito provável tendência, que pode ser aproveitada para assegurar cotas de mercado.

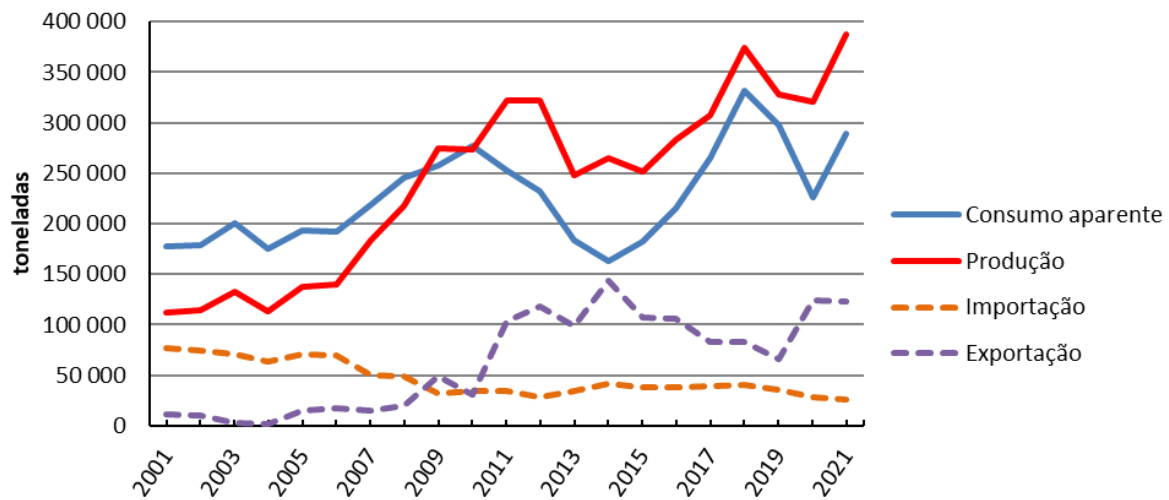


Fig. 1. Produção, importação, exportação e consumo aparente (=Produção+Importação-Exportação) de caulino, no intervalo 2001-2021. Informação obtida da Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG)

Referências

Velho, J. & Gomes, C. (1998). Mercado do caulino: da estabilidade ao redimensionamento. Boletim de Minas, 35, 1, 17.

Avaliação do Potencial de Exploração dos Recursos Hidrominerais e Geotérmicos e da sua Utilização para Temperaturas Superiores a 25°C

Assessment of the Exploitation Potential of Hydromineral and Geothermal Resources and their use for Temperatures Above 25°C

P. Madureira (1), R. Cerdeira (1), C. Lourenço (2), J. Francisco (3) e L. Coelho (3)

(1) SYNEGE, pmadureira@synege.pt

(2) Direcção Geral de Energia e Geologia

(3) Instituto Politécnico de Setúbal, ESTSetúbal, CINEA, Campus do IPS, Estefanilha, Setúbal, Portugal

Summary: Energy sustainability presents challenges as how to reduce resource consumption and how to make better use of renewable ones. For this purpose, the characterization of the existing endogenous resources is essential. The aim of this project was to evaluate the exploitation potential of hydromineral and geothermal resources and their use for temperatures above 25°C, in 39 concessions.

The results allowed verifying that it is possible to optimize the use of energy contained in hydromineral resources in most concessions, namely in space heating, domestic hot water production and swimming pool water heating, as well as in buildings in the surrounding area, such as houses, hotels, swimming pools and greenhouses. This study was carried out as part of a project financed by Fundo de Apoio à Inovação, for and with the support of the DGEG and is intended to be a first approach to allow concessions carry out more detailed studies adapted to their reality.

Key words: geothermal resources, hydromineral resources, energy efficiency, low temperature

Palavras-chave: recursos geotérmicos, recursos hidrominerais, eficiência energética, baixa temperatura

O consumo energético é, cada vez mais, um assunto emergente considerando a sustentabilidade dos recursos, bem como o custo da energia e a independência de países terceiros. A prossecução de um caminho para a sustentabilidade tem dois desafios: como reduzir o consumo dos recursos não renováveis e como melhor aproveitar os recursos renováveis. Ambos têm dois pilares essenciais que são o desenvolvimento tecnológico e o potencial (quantidade) existente.

A caracterização dos recursos endógenos existentes é essencial para uma avaliação do potencial energético, permitindo uma correta utilização no sentido de viabilizar ou condicionar a sua exploração e de definir o modo como deve ser gerido.

O estudo de avaliação do potencial dos recursos hidrominerais e geotérmicos e da sua utilização para temperaturas superiores a 25°C permitiu a obtenção de informação sobre o tipo de aproveitamento geotérmico existente nas concessões hidrominerais e do calor disponível.

Os resultados do estudo apresentado são um ponto de partida para a caracterização do recurso qualificado como água mineral natural, tendo em vista melhor conhecimento da sua exploração, de forma ambiental e economicamente sustentável,

respeitando as condicionantes existentes em cada local estudado e sem colocar em causa a sustentabilidade do recurso hidromineral e geotérmico.

Com este objectivo e considerando as especialidades envolvidas, geologia e energia, foram caracterizadas diversas concessões de águas minerais naturais, do ponto de vista geológico e energético.

Em termos geológicos, foi efectuada a análise ao potencial de cada recurso, partindo da litologia local, da condutividade hidráulica, do volume explorado, temperatura do recurso e outros dados geológicos e hidrogeológicos relevantes para definir um modelo conceptual da ocorrência.

Com esta análise foi possível avaliar a capacidade de cedência de calor ou o potencial térmico superficial capaz de ser aplicado nos balneários termais associados às concessões, nomeadamente nos tratamentos termais, aquecimento ambiente, produção de águas quentes sanitárias (AQS) e aquecimento de água das piscinas.

Após o levantamento e cálculo das necessidades energéticas de cada edifício foi possível observar a existência de potencial de otimização da utilização do recurso hidromineral na maioria das concessões.

Partindo do princípio que as temperaturas recomendáveis para o aproveitamento directo da energia são de 55°C no caso de produção de AQS, 40°C para o aquecimento ambiente e de 35°C para o aquecimento de água de piscinas, foi possível apurar que no estudo da utilização do recurso em cascata, nomeadamente com a seguinte ordem de prioridade: produção de AQS, seguido de aquecimento da água das piscinas e finalmente de aquecimento ambiente, o recurso satisfaria todas as necessidades em todas as concessões com temperatura adequada à utilização directa do mesmo, para cada aplicação.

Nos casos em que as temperaturas do recurso não são suficientes para a utilização directa nas diversas aplicações, o mesmo pode ser utilizado para um pré-aquecimento entrando posteriormente o sistema de apoio para suprimir as restantes necessidades. Dos resultados foi possível observar que para todas as concessões em que o pré-aquecimento seria possível e necessário, o recurso conseguia suprimir grande parte das necessidades energéticas das diferentes aplicações, em alguns casos acima dos 80%.

A análise dos custos para os diferentes cenários estudados permitiu comparar o custo de soluções onde o recurso é aproveitado, com um cenário base onde o recurso não é considerado. No caso dos recursos com temperaturas inferiores a 55°C, mas superior a 35°C (adequado ao aquecimento directo da água de piscinas), verificou-se que os custos de investimento e de exploração calculados eram bastante vantajosos, uma vez que as piscinas se apresentam como um dos maiores consumidores de energia. Esta vantagem ainda podia melhorar quando o recurso apresenta valores superiores a 40°C, pois assim seria também possível suprimir de uma forma directa as necessidades de aquecimento ambiente.

Nas concessões onde era necessário utilizar apoio para atingir a temperatura desejada para uma ou mais aplicações, a solução que na generalidade apresentou melhor retorno de investimento quando a temperatura do recurso é superior a 35°C foi a utilização directa do recurso, tendo como apoio térmico uma caldeira a gás propano. Já quando a temperatura é inferior a 35°C, apurou-se que a melhor solução era o pré-aquecimento para produção de AQS utilizando o recurso, tendo como apoio térmico uma bomba de Calor Geotérmica.

Após a análise da satisfação das necessidades energéticas das concessões observou-se um grande potencial de utilização do recurso, ainda disponível, na envolvente, nomeadamente em hotéis, habitações, piscinas municipais, bem como estufas.

Nos cenários estudados verificou-se que as necessidades de aquecimento ambiente e AQS, em grande parte das habitações (apenas 23% das concessões esgotam o caudal disponível nas habitações) e dos hotéis considerados na envolvente das concessões, podem ser suprimidas de forma directa ou indirectamente (com recurso a um sistema de apoio), restando ainda energia térmica para fornecer a possíveis piscinas e estufas.

Este estudo foi efectuado no âmbito de um projecto financiado pelo Fundo de Apoio à Inovação (FAI) (AVISO 04.1/2018), para e com o apoio da Direção Geral da Energia e Geologia (DGEG) e pretende ser uma primeira abordagem de forma a demonstrar a existência de potencial de optimização do recurso hidromineral na maioria das concessões, perspectivando-se boas oportunidades para melhorar a eficiência na utilização destes recursos, contribuindo desta forma para a transição energética e climática que o país está a implementar.

Mission-oriented research and innovation to support a new strategy for raw materials in Portugal

Investigação e inovação orientadas por missões que suportam uma nova estratégia para as matérias-primas em Portugal

A. Mateus (1) and L. Martins (2)

- (1) Universidade de Lisboa, Fac. Ciências, Instituto Dom Luiz, 1749-016 Lisboa, Portugal, amateus@fc.ul.pt
(2) Cluster Portugal Mineral Resources, Praça Luís de Camões 38, 7100-512 Estremoz, Portugal.

Resumo: Elevados desequilíbrios entre a procura e a oferta de matérias-primas são esperados num futuro próximo, considerando as necessidades da evolução tecnológica no sentido de economias digitais, eco-eficientes e baixo-C. A mitigação desses desequilíbrios é desafiante e requer ideias, métodos e soluções inovadoras para reestruturar as actuais cadeias de abastecimento de matérias-primas. Tal pode ser alcançado através do reforço da produção nacional e das inter-relações entre a mineração e a reutilização /reciclagem de resíduos, respeitando os resultados de projetos de investigação e inovação orientados por missões, envolvendo diferentes indústrias e órgãos dos sectores público e privado. Propõe-se, nesta análise, o primeiro esboço de uma nova estratégia para as matérias-primas em Portugal, um país onde a produção mineira poderá duplicar e os produtos gerados pela reutilização/reciclagem poderão triplicar até 2040. Estas metas permitirão contrabalançar o aumento da intensidade de matéria-prima no país associada aos programas de desenvolvimento “Green Deal” em vigor.

Palavras-chave: investigação & inovação orientadas por missões, matérias-primas, Portugal

Key words: mission-oriented research & innovation, raw materials, Portugal

As shown in many assessments, the stable foundations of eco-efficient and low-C intensity economies rely on the availability at affordable cost of an increasingly diversity of minerals and metals. Different forecasts vary in absolute figures, but the exponential growth in demand for many mineral raw materials is inevitable, reaching average values that may easily exceed in the short run 10x to 200x of the current production. Such increasing rate in demand cannot be fully supplied by reuse, recycling, or substitution practices, even when suitable managed and economically/technically viable. Consequently, investments in responsible mineral resources development should not be discontinued, as well as in probing endeavours seeking to deepen the connections and added value between the mining and product life cycles, using material flow analyses. These efforts are in fact central to accomplish the UN’s Sustainable Development Goals (SDG) and related programs dealing with, e.g., technological transition, energy transition and electric mobility. Despite of this evidence, anti-mining narratives have been gaining supporters and momentum, fuelling pockets of social tension in numerous regions of the world, with special emphasis in the EU. There are no universal solutions to this problem, but several surveys show the need to review the fundamentals that have guided actions conventionally categorised as part of the *Social License to Operate* (SLO) and of

the *Corporate Social Responsibility* (CSR). In this context, the revision of current policies and standard operating procedures to provide an effective basis for the *Environmental, Social and Governance* due diligence is relevant. However, these initiatives do not replace the absolute need to build consolidated bridges of dialogue, understanding and collaboration among the various stakeholders, as specifically recognised by SDG-17. All these issues have been widely addressed in a myriad of studies, the most relevant of which cited in the works where the present analysis is rooted (Mateus & Martins, 2019, 2021).

Portugal has a long mining tradition and the evolution experienced by its mineral industry over the last 50 years is remarkable. The global weight of revenues generated by this industry has been around 0.5-0.6% of the GPD since 1994, but that share could spread significantly in future if: (i) the expected rises in value chains occur; (ii) promising prospects evolve to mining centres; and (iii) mineral exploration surveys could proceed on a regular basis along with new investments in mineral resources knowledge. The country has a well-developed transport and energy infrastructure, as well as access to a competitive and qualified labour force, thus lowering the CAPEX and OPEX for new mining entrepreneurs. The regulatory framework in force still favours ventures in mineral exploration and mining, despite the decrease

of the country's position in international rankings over the past decade due to erratic permitting processes and vigorous adverse social disputes in central/northern Portugal. The *Cluster Portugal Mineral Resources* is an additional strength of the sector, convening a growing number of members from industry, equipment suppliers, technology and systems providers, and academia that, jointly, seek to deepen collaborative work across all stages of the mineral value chains.

The reuse/recycling rates of wastes and residues in Portugal are still very low ($\approx 16\%$ in 2020), despite of many advances in research on Material Science & Engineering and Eco-design led by national teams. In contrast, the country's material intensity continues to grow and will tend to increase even more as the planned "Green Deal" development projects are completed. Many of these projects are in risk if supply shortages or disruptions in many minerals and metals occur or if their market prices spread to unaffordable levels. In addition, the country has the ethical duty to assume its share of responsibility in the production of what it consumes, according to the available sources.

All the basic ingredients exist in Portugal to encourage upgrades of the national mineral-based supply chain, complemented with outputs from reuse/recycling of wastes and residues (including those from mining). To this end, however, we need a new vision. The focus should not be sectoral, such as the one framing the *National Strategy for Geological Resources – Mineral Resources* (2012). Instead, we should look for a multitude of knowledge-based and mission-oriented research and innovation approaches with measurable and time-bounded targets, tackling also major societal challenges (e.g. Mazzucato, 2018). Equally, innovative methodologies must be developed to ensure the access to the territory by the mining industry in parity with other economic sectors. All this implies a systemic attitude and an effective mobilisation of players from cross-sectors and the society in general. Deepen collaboration and feedback loops across different entities from private and public sectors, including those responsible for policy and regulatory measures, is crucial, as schematically illustrated in Fig. 1.

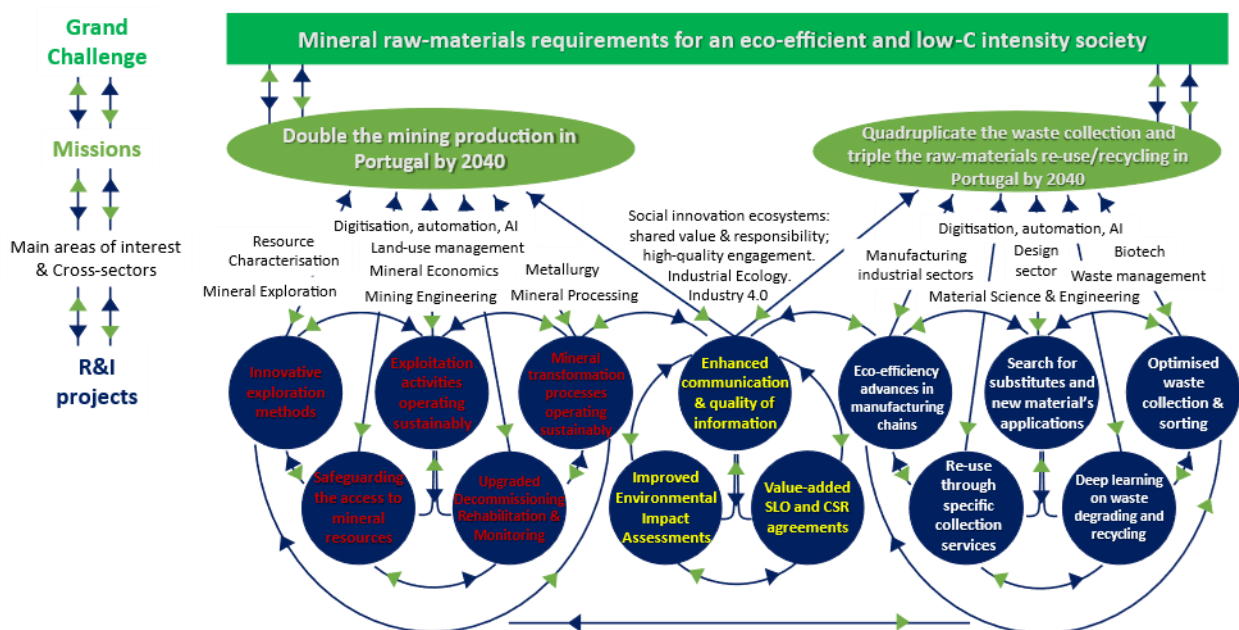


Fig. 1. Schematic illustration of the leading topics for research and innovation (R&I) projects oriented to the two missions and their entwining.

Acknowledgements: INOVMINERAL4.0 project and UIDB/50019/2020- IDL grant (FCT I.P./MCTES).

References

- Mateus, A. & Martins, L. (2019). Challenges and opportunities for a successful mining industry in the future. *Boletín Geológico y Minero*, 130 (1), 99-121.
- Mateus, A. & Martins, L. (2021). Building a mineral-based value chain in Europe: the balance between social acceptance and secure supply. *Mineral Economics*, 34, 239-261.
- Mazzucato, M. (2018). Mission-oriented research and innovation in the European Union: a problem-solving approach to fuel innovation-led growth. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Publications Office.

Geological meaning of the REE distribution in zircons from granitoid, aplite and pegmatite bodies of the Panasqueira-Segura area

Significado geológico da distribuição de ETR em zircões de corpos granitoides, aplíticos e pegmatíticos da área de Panasqueira-Segura

A. Mateus (1), C.C.G. Tassinari (2), I. Martins (1), M.L. Borba (2), Í. Dias da Silva (1) and K. Sato (2)

- (1) Universidade de Lisboa, Fac Ciências, Instituto Dom Luiz (IDL), 1749-016 Lisboa, Portugal
amateus@fc.ul.pt
- (2) Centro de Pesquisas em Geocronologia e Geoquímica Isotópica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 05508-080 São Paulo, Brasil

Resumo: Na área de Panasqueira-Segura, vários corpos granitoides e diferentes enxames de diques cortam as sucessões metassedimentares que compõem o Grupo das Beiras. Diferentes populações de zircão foram extraídas de: (i) granitoides Câmbrio-Ordovícicos (Batão, Oledo/Idanha-a-Nova, Zebreira e Fundão), (ii) granitos e leucogranitos Variscos (Segura, Penamacor-Monsanto, Orca, Castelo Branco, Argemela e Panasqueira); e (iii) diversos conjuntos de filões aplíticos, pegmatíticos e de pórfiros. Os conteúdos de elementos de terras raras (ETR) em zircão foram analisados com SHRIMP-IIe após análise de imagens SEM-CL. Os resultados obtidos revelam que zircões provenientes de amostras sujeitas a modificações composicionais tardias, geralmente associadas a processos mineralizantes, registam enriquecimento significativo de ETR leves, para além de U e ²⁰⁴Pb. Tais características composicionais denunciam interação duradoura com fluidos quimicamente reativos, possivelmente exsolvidos de fundidos silicatados em condições de transição magmática-hidrotermal.

Palavras-chave: Geoquímica de ETR, Zircão, Granitos e rochas derivadas, Área de Panasqueira-Segura

Key words: REE geochemistry, Zircon, Granites and derived rocks, Panasqueira-Segura area

In the Panasqueira-Segura area, metasediments of the Beiras Group are intruded by voluminous plutons and different dyke swarms. Plutonic rocks can be grouped into 3 main suites (Martins et al., 2022, and references therein). The first one is dominated by weakly per-aluminous I-type granodiorites, biotite quartz-diorites and tonalites forming the Batão, Oledo/Idanha-a-Nova Zebreira and Fundão plutons. This suite represents the magmatic event peaking at the Cambrian-Ordovician transition. The other two plutonic suites are mainly composed of monzonitic granites (often bearing biotite and muscovite, and occasionally porphyroid) but locally including leucogranites. These highly peraluminous S-type rocks provide evidence for multiphase emplacement of melts during the late Carboniferous and comprise several plutons (such as Segura, Penamacor-Monsanto, Orca and Castelo Branco), besides the partly and completely concealed granites related to the Argemela and Panasqueira ore-forming systems, respectively.

Subvertical dykes of fine-grained granodiorites (with azimuth direction 110°±5° to 121°±5°) and microgabbros (102°±7°) occur in several locations, often nearby the Cambrian-Ordovician plutons, the most important exception being the cluster of quartz-

diorite /granodiorite dykes (beside a small laccolith) labelled as Matos. Subvertical dykes of porphyry mesocratic rocks (148°±5°, 360°±12°, 119°±9°), locally along with minor laccoliths, are common in the SW part of the study area, namely across the W-SW periphery of the Zebreira pluton (e.g. Furão and Marcelina). Aplite dykes, sometimes along with pegmatites, are mostly confined to the margins of the Orca and Penamacor-Monsanto plutons, and to metasediments around the Segura granites, displaying a wide range of directions (dominantly between NE-SW and ENE-WSW) and dips (subvertical to <40°, usually to the NW-WNW).

Different zircon populations were taken from samples representing the above-mentioned plutons and dyke swarms. Several zircon mounts were prepared along with the TEMORA 2 and NIST 610 standards, examined with a SEM-CL Quanta 250 FEI, and further analysed with a SHRIMP-IIe for U, Pb, Th and REE, as reported in Borba et al. (2021). Here, only the results obtained for REE in zircon will be reported and briefly discussed.

The REE contents and their CN-normalised patterns for oscillatory or sector zoned zircons in granitoid rocks lacking effects of late metasomatic or hydrothermal processes are similar, despite of their

age (Fig.1). The patterns match those typically revealed by magmatic zircons (e.g. Pettke et al., 2005), displaying an evident LREE-HREE fractionation together with slight positive Ce-anomalies and pronounced negative Eu-anomalies. In the same rocks, other texturally analogous zircons present REE CN-normalised patterns typified by larger positive Ce-anomalies, possibly denoting consecutive zircon crystallisation stages under conditions of higher oxygen partial pressure. This interpretation could also explain the contrasting Ce- and Eu-anomalies obtained for many zircon grains in porphyry rocks of Furão and Marcelina, although requiring higher LREE saturation, as indicated by the LREE enrichment trend.

Zircons from aplite/pegmatite bodies rarely preserve oscillatory zoning, conceivably due to a significant interaction with fluid-saturated melts. Even so, their REE CN-normalised patterns are indistinguishable from those above described for zircons in contiguous granite facies. On the contrary, evident differences exist when zircons came from aplite/pegmatite or granite samples subjected to strong compositional changes, which are usually related to an increase of

mineralisation footprints. In such cases, zircons show complex internal textures in which secondary domains cut across primary growth zones, besides a prominent LREE enrichment along with fading or even loss of the Ce- (and sometimes Eu-) anomalies. As demonstrated in some studies (e.g. Zhong et al., 2018, 2021), part of this LREE enrichment could reflect accidental sampling of sub-micrometre inclusions in zircon (e.g. monazite, apatite). However, the textural and compositional changes recognised for these zircons are irrefutable, being comparable with other well documented case-studies (e.g. Hoskin, 2005; Borba et al., 2021).

Additional evidence for late compositional changes experienced by zircons from highly differentiated rocks or granitic facies affected by mineralising fluids are provided by high U and ^{204}Pb contents, ranging from 500 to 10000 ppm, and often above 1 wt%, respectively. Future work will explore the geological meaning of this U-enrichment (co-varying with ^{204}Pb and LREE increase?) in zircons from rocks affected by a long-lasting interaction with chemically reactive fluids, possibly exsolved from melts in transitional magmatic-to-hydrothermal conditions.

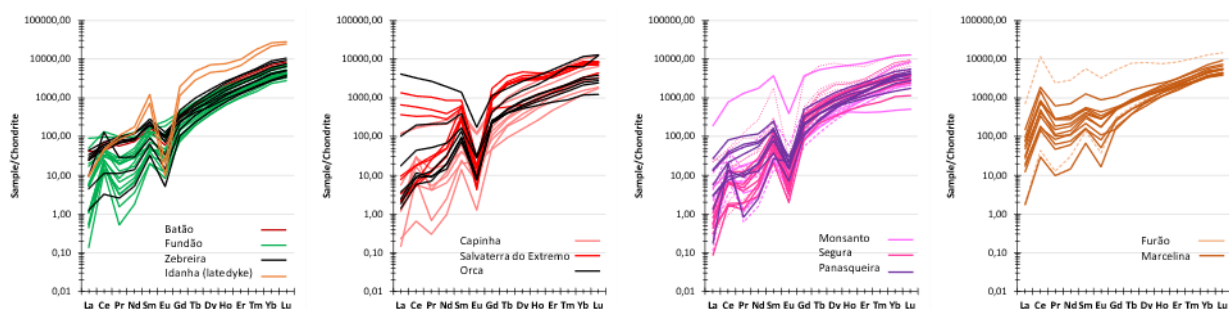


Fig. 1. REE Chondrite (CN)-normalised patterns for zircons taken from granitoid, aplite/pegmatite and porphyry rocks spread across the Panasqueira-Segura area. For Monsanto and Segura, the dotted and dashed lines discriminate, respectively, pegmatite and aplite bodies.

Acknowledgements: ERA-MIN/0002/2019, UIDB/50019/2020 and PD/BD/142783/2018 grants (FCT I.P./MCTES).

References

- Borba, M.L., Tassinari, C.C.G., Matos, F.M.V., Sato, K., Huhn, S., Ferreira, S.N. & Medeiros, C.A. (2021). Tracking hydrothermal events using zircon REE geochemistry from the Carajás Mineral Province, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 221, 106679.
- Hoskin, P.W.O. (2005). Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of Hadean zircon from the Jack Hills, Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69, 637-648.
- Martins, I., Mateus, A., Cathelineau, M., Boiron, M.-C., Ribeiro da Costa, I., Gaspar, M. & Dias da Silva, I. (2022). The lanthanide tetrad effect as an exploration tool for granite-related rare metal ore systems: examples from Iberian Variscides. *Minerals* 12(9), 1067.
- Pettke, T., Audétat, A., Schaltegger, U. & Heinrich, C.A. (2005). Magmatic-to-hydrothermal crystallization in the W-Sn mineralized Mole granite (WSW, Australia): part II: evolving zircon and thorite trace element chemistry. *Chemical Geology*, 220, 191-213.
- Zhong, S., Feng, C., Seltmann, R., Li, D. & Qu, H. (2018). Can magmatic zircon be distinguished from hydrothermal zircon by trace element composition? The effect of mineral inclusions on zircon trace element composition. *Lithos*, 314-315, 646-657.
- Zhong, S., Li, S., Seltmann, R., Lai, Z. & Zhou, J. (2021). The influence of fractionation of REE-enriched minerals on the zircon partition coefficients. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101094.

Permanent carbon storage potential in the Fontanelas Late Cretaceous volcano: a template for global application

Potencial de carbonatação mineral permanente no vulcão de Fontanelas: um modelo para aplicação global

R. Pereira (1,3) and D. Gamboa (2,3)

- (1) GeoBioTec, Dep. Ciências da Terra, FCT-UNL, Monte de Caparica, Portugal.
rns.pereira@campus.fct.unl.pt
- (2) Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P. (IPMA), Lisboa, Portugal.
- (3) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Sumário: A carbonatação mineral *in-situ* em rochas máficas e ultra-máficas é um processo conhecido e promissor que pode contribuir para a sequestração rápida, permanente e segura de CO₂. O vulcão de Fontanelas, localizado no sector offshore da Margem Oeste Ibérica é aqui investigado como um caso de estudo para carbonatação mineral *in-situ* em edifícios vulcânicos em margens continentais. Dados de sísmica de reflexão, combinados com geoquímica de rocha total e propriedades petrofísicas são utilizados para avaliar a capacidade de armazenamento de carbono através de modelos determinísticos. Os resultados indicam que este edifício tem o potencial de armazenar até 8,6 Gt CO₂ em novas fases minerais. Vulcões extintos de margens continentais podem ser considerados entidades geológicas para armazenamento sustentável de carbono e contribuir para mitigar os impactos de emissões antropogénicas, com potencial para sequestrar, a nível global, até centenas de Gt de CO₂.

Palavras-chave: Vulcão de Fontanelas, Cretácico superior, carbonatação mineral *in-situ*, CCUS

Key words: Fontanelas volcano, Late Cretaceous, *in-situ* mineral carbonation, CCUS

Greenhouse gas emissions from anthropogenic sources, particularly CO₂, have demonstrated impacts to climate change. To achieve a net-zero CO₂ balance between industrial sources and natural sinks require, novel approaches are required to tackle the problem. Recent research and industrial advances from the last decade reported the auspicious forms of capturing CO₂ in mafic and ultra-mafic rocks through *in-situ* mineral carbonation, a natural interaction of fluid and minerals leading to the formation of new stable carbonate materials (Snæbjörnsdóttir et al., 2020). In peridotites and serpentinites from the Samail Ophiolite of Oman this process is known to occur naturally (Kelemen et al., 2019). This concept has been successfully implemented in the CarbFix project (Iceland), with mineral carbon trapping described to occur on basaltic lava flows within a period of 2 years after injection (Snæbjörnsdóttir et al., 2017). More recently, storage in the oceanic crust or in ancient and buried volcanoes have been envisioned for permanent carbon capture (e.g., Holford et al., 2021).

In this work we evaluate the Fontanelas composite volcano (Fig.1), a Late Cretaceous edifice located on the offshore of Portugal (Pereira et al., 2022), as a site for permanent carbon sequestration through *in-situ*

mineral carbonation. The Fontanelas volcano is here used as a proxy for the application of this method on similar volcanic edifices on continental margins.

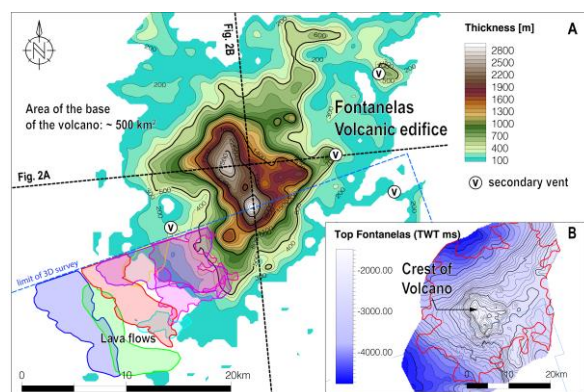


Figure 4. Thickness (A) and Two-Way Time maps (B) of the Fontanelas volcano, and associated lava flows.

High-resolution seismic reflection surveys reveal the Fontanelas edifice as a 2800 m high stratovolcano with an area of about 500 km², and a total rock volume of 327 km³. At its crest, dredge samples revealed olivine-rich alkaline basalts form pillow lavas and hyaloclastite, in which vesicles show naturally formed carbonate minerals. The internal layering of the edifice and favourable petrophysical properties

indicate the Fontanelas volcano as a suitable candidate for in-situ mineral carbonation.

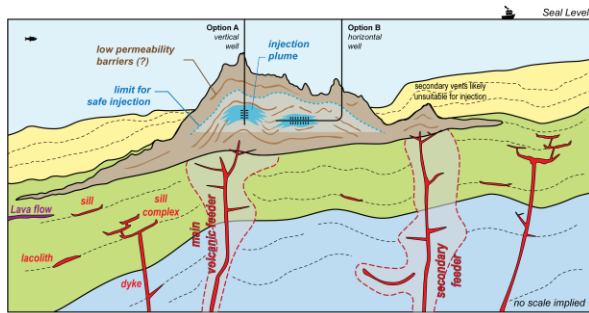


Figure 5. The Fontanelas volcanic edifice and associated plumbing system, with the conceptual injection CO₂ injection site for in-situ mineral carbonation.

Based on sequestration indicators from Iceland (Callow et al. 2018), and the nature and architecture of the Fontanelas volcanic edifice, our deterministic estimations indicate that on a base case, 1.2 Gt of CO₂ can be permanently stored into new stable mineral phases, with a high case scenario indicating that its potential can reach up to 8.6 Gt of CO₂ (Fig. 2). During 2015-2018 period, the national energy sector was responsible for an average volume of emissions of 48 Mt CO₂ eq per year. Considering this indicator,

our model suggest that the Fontanelas volcano would be able to store an equivalent of 24 years of the country's industrial emissions, permanently and safely.

Considering the existence of similar buried volcanoes in the North Atlantic, the South China Sea or South Australia (Holford et al., 2021), our encouraging results suggests that the concept of *in-situ* mineral carbonation on extinct buried volcanos can therefore be considered valid for other geological settings on continental margins worldwide. Our analysis additionally provides insights on the overall concept of *in-situ* mineral carbonation on buried volcanoes to reveal the geological controls that can lead this technique towards a future pilot phase that can effectively and safely be applied on an economic scale. Ultimately, our results suggest that ancient, buried volcanoes on passive continental margins can be considered for safe carbon storage and contribute to mitigate the impacts of anthropogenic carbon emissions.

Acknowledgements: The authors wish to thank Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), and the support of IDL, funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds (PIDDAC) – UIDB/04035/2020-GeoBioTec and UIDB/50019/2020-IDL. D. Gamboa thanks FCT funding for project MAGICLAND (PTDC/CTA-GEO/30381/2017).

References

- Callow, B., Falcon-Suarez, I., Ahmed, S. & Matter, J. (2018). Assessing the carbon sequestration potential of basalt using X-ray micro-CT and rock mechanics. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 70, 146-156.
- Holford, S., Schofield, N., Bunch, M., Bischoff, A., & Swierczek, E. (2021). Storing CO₂ in buried volcanoes. *The APPEA Journal*, 61(2), 626-631.
- Kelemen, P., Benson, S. M., Pilorgé, H., Psarras, P., & Wilcox, J. (2019). An Overview of the Status and Challenges of CO₂ Storage in Minerals and Geological Formations. *Frontiers in Climate*, 1(9).
- Pereira, R., Mata, J., Ramalho, R. S., Rosas, F. M., Silva, B., Represas, P., & Escada, C. (2022). Nature, timing and magnitude of buried Late Cretaceous magmatism on the central West Iberian Margin. *Basin Research*, 34(2), 771-796.
- Snæbjörnsdóttir, S. Ó., Oelkers, E. H., Mesfin, K., Aradóttir, E. S., Dideriksen, K., Gunnarsson, I., Gunnlaugsson, E., Matter, J. M., Stute, M., & Gislason, S. R. (2017). The chemistry and saturation states of subsurface fluids during the in situ mineralisation of CO₂ and H₂S at the CarbFix site in SW-Iceland. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 58, 87-102.
- Snæbjörnsdóttir, S. Ó., Sigfússon, B., Marieni, C., Goldberg, D., Gislason, S. R., & Oelkers, E. H. (2020). Carbon dioxide storage through mineral carbonation. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(2), 90-102.

Portuguese low grade kaolin based geopolymers

Geopolímeros elaborados a partir de caulinos portugueses de baixo grau de ordem estrutural

F. Rocha (1) and C. Costa (2)

- (1) GeoBioTec, Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal (tavares.rocha@ua.pt)
- (2) Technological Center for Ceramics and Glass, Coimbra, Portugal

Sumário: A presente investigação tem como objetivo avaliar se o processo de geopolimerização beneficia da utilização de caulinos de baixa ordem estrutural como precursores. Foram selecionados dois caulinos do NW Portugal (Mibal, Barqueiros), muito ricos em caulinite, mas apresentando elevados conteúdos de ferro. Estes caulinos, com e sem tratamento térmico, foram usados na formulação de diferentes geopolímeros, submetidos a testes de compressão e absorção de água após 7, 14 e 28 dias de cura. Os resultados obtidos mostram ganhos claros de resistência (até 5,7MPa nas amostras não aquecidas e 9,6MPa nas aquecidas), considerando os valores existentes na literatura. Por conseguinte, a maior desorganização estrutural do caulino precursor beneficia o processo de dissolução e produção do gel polimérico.

Palavras-chave: Geopolímeros, ativação alcalina, caulinos desordenados, caulinos de Barqueiros

Key words: Geopolymers, alkaline activation, low grade kaolins, Barqueiros kaolin

A geopolymer is an inorganic polymer obtained by the alkaline activation of an aluminosilicate under certain temperature and pressure conditions (Davidovits, 2015). According to Costa et al. (2018) and Petrillo et al. (2016), the geopolymers can be a great solution to use as construction material, namely replacing cement, mortars, concrete.

The geopolymers can be produced from natural phyllosilicates cured at room temperature; thus, they have good physical and chemical characteristics, such as: high workability, quick hardening, surface finishing, rapid development of mechanical strength, surface hardness, good resistance to chemical attack, heat and fire (Davidovits, 2015).

As interest in these products increases, research is starting in Portugal aiming to produce geopolymers from abundant Portuguese kaolin deposits. Some of these deposits, located on NW Portugal, being sedimentary formations of Pliocene age, have some levels of kaolins very rich in kaolinite but presenting iron contents too high for paper and white ceramic applications, being considered as subproducts or even rejected. These kaolins have, in general, kaolinites showing low structural order.

Geopolymers were prepared using two Portuguese low grade kaolins (MIB-A and MIB-C), provided by a Portuguese company (Mibal – Minas de Barqueiros

SA; location at Fig. 1) with a grain size less than 30 μm .

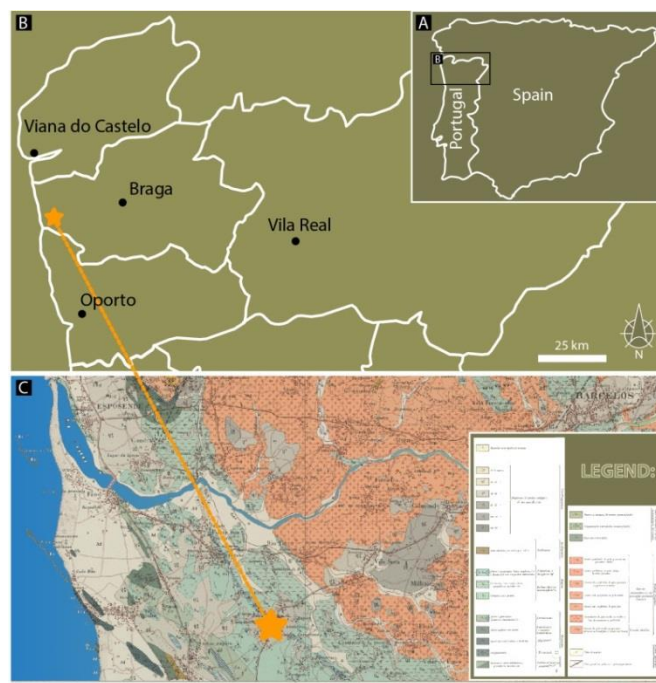


Fig. 1. Kaolin deposits location, and geological map 1:50 000 adapted, 1-C sheet - Barcelos.

These two low grade kaolin, with and without heat treatment, were then used in the formulation of different geopolymers (Fig. 2). Both kaolins were used

in their natural state and calcined at temperatures of 300, 500 and 750°C during 4 hours, to evaluate the effect of the temperature calcination on final products.

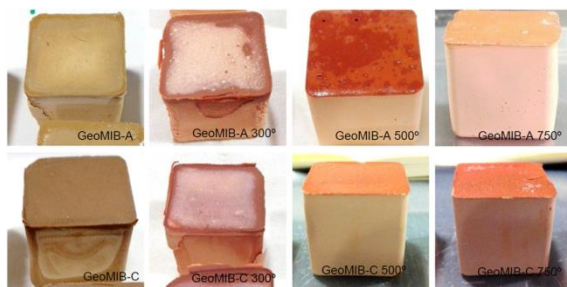


Fig. 2. Geopolymer performed specimens.

The different specimens were then subjected to compression and water absorption tests at 7, 14 and 28 days of cure (results presented on Figs. 3 and 4, respectively).

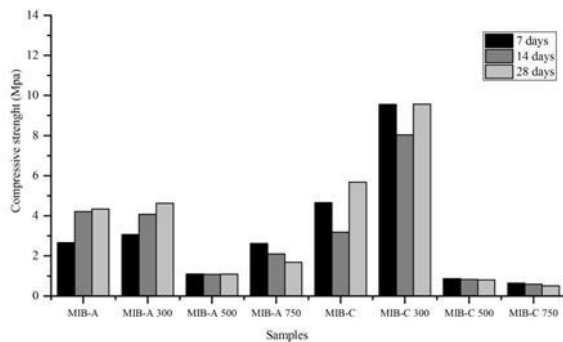


Fig. 3. Compressive strength of geopolymers at different curing times (7, 14 and 28 days).

Acknowledgements: This work was supported by GeoBioTec (UIDB/04035/2020) Research Centre, funded by FEDER funds through the Operational Program Competitiveness Factors COMPETE and by National funds through FCT.

References

- Costa, C., Cerqueira, Â., Rocha, F. & Velosa, A. (2018). The sustainability of adobe construction: past to future. *International Journal of Architectural Heritage*, 13, 639-647. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1459954>.
- Davidovits, J. (2015). Environmental implications of Geopolymers. <https://www.materialstoday.com/polymers-soft-materials/features/environmental-implications-of-geopolymers/>; last time accessed: January 2023.
- Petrillo, A., Cioffi, R., Felice, F., Colangelo, F. & Borrelli, C. (2016). An Environmental Evaluation: A Comparison Between Geopolymer and OPC Concrete Paving Blocks Manufacturing Process in Italy. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 35(6), 1699-1708. DOI: <https://10.1002/ep12421>.

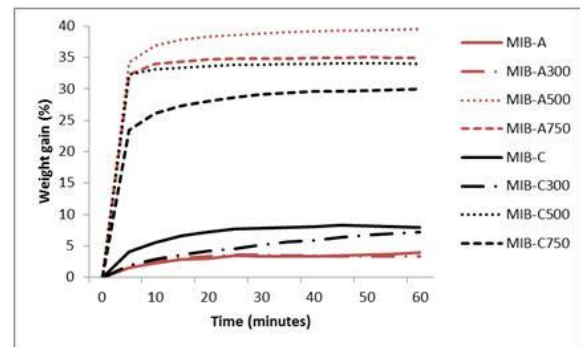


Fig. 4. Water absorption (%) of geopolymers for 28 days of cure.

The large difference in water absorption values (Fig. 4) relates to the change in the structure of the raw materials with heating. The dehydroxylation of kaolinite resulting an amorphous material metakaolinite with a high reactivity pozzolan. The increase of amorphous content in the raw materials facilitates water absorption capacity.

Therefore, we can conclude that a greater structural disorder of the kaolin precursor benefits the process of dissolution and production of the polymeric gel.

Evolução de fluidos registada num cristal de quartzo do pegmatito da Venturinha (Penalva do Castelo): um pequeno complemento ao trabalho de Correia Neves

Evolution of fluids registered in a quartz crystal of the Venturinha pegmatite (Penalva do Castelo): a small complement to the work of Correia Neves

M. Rodrigues (1), A. Guedes (1), A.C. Santos (1), I. Bobos (1) e F. Noronha (1)

- (1) Instituto de Ciências da Terra – Pólo do Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal (up201510120@edu.fc.up.pt)

Summary: *This work aims to give a small contribution to the work of Correia Neves in the Venturinha pegmatite, by providing some insights into the characterization and conditions that prevailed during the formation of a quartz crystal from this pegmatite, using fluid inclusion studies. Petrographic, microthermometric and Raman results, supported by cathodoluminescence, indicate that this crystal started to crystallize in the presence of aqueous-carbonic fluids that evolved to aqueous fluids with lower salinity at the end of crystallization.*

Key words: *fluid inclusion, microthermometry, microspectrometry, Raman, cathodoluminescence*

Palavras-chave: inclusões fluidas, microtermometria, microespectrometria, Raman, catodoluminescência

Na Zona Centro Ibérica, a NE de Penalva do Castelo (Viseu), e mais especificamente entre as localidades de Silvã de Cima e Sezures, foi explorado até um passado recente um pegmatito granítico denominado pegmatito da Venturinha. A sua exploração inicialmente visou a obtenção de “glucínio” (berílio), e posteriormente feldspato e quartzo. Neste momento, a área já foi sujeita a recuperação ambiental o que a tornou praticamente inacessível.

No que respeita ao seu encaixante, o pegmatito aflora no seio do granito porfiróide de grão grosseiro e biotítico, tardi-tectónico “Granito das Beiras”, próximo ao contacto com o granito de grão médio a fino, a norte, e o granito pós-tectónico do maciço de Esmolfe, a sul (Gonçalves et al., 1990).

Este pegmatito apresentava um aspeto textural de grande beleza, talvez o melhor do seu género em Portugal, e que estava diretamente associado à origem do termo “pegmatito”: a textura gráfica, que descreve o intercrescimento de quartzo e microclina-micropertite, e cuja disposição remete visualmente para a antiga escrita com caracteres cuneiformes (Fig. 1).



Fig. 1. Pormenor da textura gráfica numa amostra de mão do pegmatito da Venturinha.

O trabalho mais notável e abrangente neste pegmatito foi desenvolvido pelo Prof. Doutor Correia Neves (1962), que estudou a região, e em especial o pegmatito, do ponto de vista geológico, mineralógico, petrográfico, geoquímico e genético. Durante o seu estudo foi possível reconhecer a seguinte estrutura e mineralogia: (i) a zona marginal, que estabelece uma transição contínua entre o granito e o pegmatito gráfico e que se caracteriza pela presença de quartzo leitoso, feldspato potássico, moscovite e biotite; (ii) a zona mural, de pegmatito gráfico; (iii) a zona intermédia, com quartzo, feldspato potássico e albite, como minerais principais, e berilo e columbo-tantalite, como acessórios; (iv) o núcleo de quartzo.

Durante a amostragem no pegmatito, foi recolhido uma amostra de quartzo, composto por dois prismas hexagonais intercrescidos paralelamente, de aproximadamente 6 cm, ainda apresentando na sua base pegmatito com moscovite, feldspato potássico e albite (Fig. 2). Assim, e de forma a caracterizar as condições P-T-X associadas à formação do cristal, foram realizados estudos de inclusões fluidas (IF), complementados por catodoluminescência.



Fig. 2. Amostra de quartzo do pegmatito da Venturinha.

A análise por catodoluminescência revelou uma cor azul de curta-vida, típica de quartzo pegmatítico e hidrotermal (Götze et al., 2001), e uma série de zonas de crescimento da base para o topo do cristal.

As IF nesta amostra apresentam-se em grupo, geralmente com forma de cristal negativo, e de dimensões compreendidas entre 20 a 60 μm . Podem apresentar duas ou três fases à temperatura ambiente e um grau de preenchimento (flw) entre 0,6 e 0,95. As IF são maioritariamente dos tipos Lc-w, Lw-c e Lw isto é inclusões aquo-carbónicas e aquosas. As análises termométricas forneceram valores de temperaturas de homogenização global (Th) entre +272 e +332 $^{\circ}\text{C}$ para inclusões fluidas do tipo Lc-w, entre +228 e +269 $^{\circ}\text{C}$ para inclusões fluidas do tipo Lw-c, e entre +212 e +235 $^{\circ}\text{C}$ para inclusões fluidas do tipo Lw.

De forma geral, os resultados microtermométricos e de espectrometria Raman revelaram a existência de: (i) fluidos aquo-carbónicos do tipo $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{N}_2-(\text{CH}_4)-\text{NaCl}$, com 89,4 a 95,5 mol% de H_2O , 3,0 a 5,8 mol% de CO_2 , 0,6 a 5,3 mol% de NaCl, 0 a 0,2 mol% de N_2 , e vestígios de CH_4 , e uma densidade entre 0,69 e 0,93 g/cm^3 ; (ii) fluidos aquosos do tipo $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$, com baixa salinidade (entre 0,9 e 1,1 mol% de NaCl) e vestígios de CO_2 , CH_4 e N_2 em alguns casos. Estes fluidos apresentam uma densidade entre 0,76 and 0,97 g/cm^3 .

Estes resultados indicam que o cristal de quartzo começou a cristalizar na presença de fluidos aquo-carbónicos, que progressivamente evoluíram para fluidos aquosos nas fases finais de cristalização. Essa evolução incluiu a perda de voláteis, diminuição na salinidade e aumento na densidade dos fluidos, num sistema em que a temperatura teve um papel mais relevante que a pressão.

Agradecimentos: Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projetos Ref^s UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020. Marcela Rodrigues beneficia de uma bolsa de doutoramento financiada pela FCT (Ref. SFRH/BD/138332/2018).

Referências

- Correia Neves, J. M. (1962). Pegmatites in the region of Venturinha (Penalva do Castelo, Viseu). Memórias e Notícias do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra, vol. 54, 135 pp.
- Gonçalves, L. S., Araújo, J. R. F., Fonseca, E. C., Pinto, M. S., & Ferreira Pinto, A. F. (1990). Folha 17-B (Fornos de Algodres) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Serv. Geol. Portugal.
- Götze, J., Plötze, M., & Habermann, D. (2001). Origin, spectral characteristics and practical applications of the cathodoluminescence (CL) of quartz – a review. *Mineralogy and Petrology* 71, 225-250.

Alluvial Sn and W minerals mapping for mineral resources exploration and research in Segura mining region (Portugal)

Mapeamento de minerais aluvionares de Sn e W para a prospeção e investigação de recursos minerais na região mineira de Segura (Portugal)

R. Salgueiro (1), N. Grácio (1,2), M. Gaspar (2,3) and D. de Oliveira (1)

- (1) Unidade de Recursos Minerais e Geofísica, LNEG, rute.salgueiro@lneg.pt
- (2) Departamento de Geologia, FCUL
- (3) Instituto Dom Luiz (IDL), FCUL

Sumário: Com base em amostras aluvionares em arquivo no LNEG, foi possível conceber mapas de concentração de grãos de cassiterite, volframite e scheelite, para a região mineira de Segura (Castelo Branco) enquadrada na Faixa metalogenética estanho-tungstanífera de Góis-Segura. O padrão de distribuição da concentração de grãos destes minerais de minério de Sn e W, materializa-se em halos concêntricos distintos, em torno do endo/exo-contacto do granito de Segura; estes padrões podem ser correlacionados com distintos eventos metalogenéticos que ocorreram na região, sob controlo estrutural, litológico ou magmático-hidrotermal e em fases distintas, possivelmente com maior sobreposição na parte oeste da mesma. Deste modo, o mapeamento da cassiterite, volframite e scheelite, à escala regional, provou ser útil para ser aplicado à investigação e prospeção de recursos minerais, podendo contribuir para traçar vetores neste tipo de mineralizações de Sn e W.

Palavras-chave: minerais aluvionares de Sn-W, mapeamento mineral, prospeção mineral, mineralizações de Sn-W, região mineira de Segura

Keywords: alluvial Sn-W minerals, mineral mapping, mineral exploration, Sn-W mineralizations, Segura Mining region

Introduction

Placers/alluviums are natural concentrations of heavy minerals (HM; 2.8-2.9 g/cm³; Morton, 1978), whose mineralogical composition depends on the inherited mineralogy of the primary sources, their stability and migration capability (e.g., Patyk-Kara et al., 2001). When dispersion factors prevent significant transport, alluvial HM assemblages are proximal to their sources and should mirror the surface geology, including existing orebodies, as it has been demonstrated in the Segura region (Viegas et al., 1988; Gaspar, et al., 2022). Cassiterite (Cass), wolframite (Wolf), and scheelite (Sch) are HM, and good indicator minerals for Sn-W deposits, therefore suitable for targeting mineralization in such proximal environments.

Grain concentration maps of Cass, Wolf, and Sch for the Segura region were produced, based on data extracted from alluvial samples collected during previous surveys, meant to be used as a mineral exploration tool at the regional scale. This work has been conducted under the thematic research line *mineral pathfinders and fingerprints of the MOSTMEG project* and aimed to improve our regional understanding on Sn and W metallogenetic systems.

Geological setting

The Segura mining field, in Central-Iberian Zone (Fig.1), is part of the Góis-Segura Sn-W metallogenetic belt. The region is dominated by the Slate-Greywacke Complex (SGC; pre-Ordovician) and the Variscan Segura Massif. Mineralization comprises exo-granitic Sn-W quartz veins (filling late/post tectonic faults) and Li-(Sn) Cass-bearing aplite-pegmatites (genetically related with granites). Cass is the dominant ore mineral of most Sn-W veins containing minor Wolf, except in a few Wolf>Cass lodes that occur further away from the granites. Scheelite was never reported in regional rocks or mineralized bodies; Ba-Pb-Zn quartz veins intersect both SGC and granites (Antunes, 2000).

Methodology

The Cass, Wolf, and Sch are part of the alluvial samples from old surveys that were collected in 2nd or 3rd order streams, panned, sieved (<3mm), subjected to heavy liquids (2.89g/cm³) and magnetic separation; their grains were counted or estimated, under the binocular microscope, or UV light for Sch. For the present study 446 samples were selected, and data for their respective Cass, Sch and Wolf number of grains compiled; in 4 of these samples, the amount of Cass grains was estimated. Mineral distribution maps

were created with ArcGIS software using the inverse distance weighted interpolation method (IDW).

Results and discussion

Cass, Wolf and Sch distribution patterns define concentric halos around the endo/exo-contacts of the Segura granite with marked anomalies associated with major orebodies (Fig. 1). It is notorious that the highest abundance of Cass (up to ≥ 5000 grains) and Wolf (>300 for grains) are confined to the western (and northern) part of the halo overlying the exploited Sn-W mineralised quartz veins. The contribution of these sources to Cass and Wolf in the alluviums must have been more significant than the one related to the smaller Sn-W quartz veins, and the Li-Sn aplite-pegmatite bodies that define a minor Cass anomaly overlying the Cass anomalous halo in the eastern part. The Cass halo is wider than that of Wolf and Sch denoting a Sn $>$ W mineralizing system. The Wolf/Cass ratio tends to increase away from the Segura granite, following the metallogenic zoning proposed for the region (e.g., Antunes, 2000).

Regarding alluvial Sch, its higher abundance (up to >500 grains) defines a marked yet more discreet and distal anomalous halo relative to Cass and Wolf ones, as it can be clearly seen in the east near the Spanish border (Fig. 1).

Conclusions

The alluvial Cass, Wolf, and Sch anomalies and pattern halos can be correlated with distinct W-Sn metallogenetic events, interpreted as having different origins and controlling factors (structural, lithologic, magmatic/hydrothermal, timing), and likely locally overlapping, especially to the west. The absence of reported Sch in the mineralized bodies and the well-defined halo around the Segura Massif suggests a metasomatic contact origin by remobilization of W from the metasediments.

The Segura regional-scale alluvial Cass, Wolf and Sch maps complement and reinforce previous studies, proving to be a useful mineral exploration tool in other Sn-W systems.

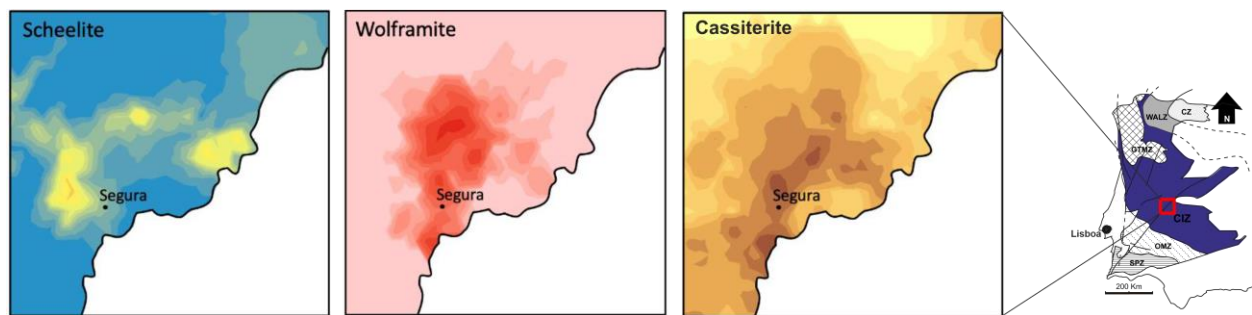


Fig. 1. Alluvial cassiterite, wolframite and scheelite grains abundance maps for the Segura mining region.

Acknowledgments: The research was supported by Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P. through national funds, by the MOSTMEG project (ERA-MIN/0005/2019) -in which Nuno Grácio is Grant holder- and MOSTMEG project (ERA-MIN/0002/2019), <http://mostmeg.rd.ciencias.ulisboa.pt/>. The authors thank the SFM Project “Prospecção de Estanho e Volfrâmio e outros metais associados-Faixa Gois-Segura” funded by national funds, PIDDAC, for the samples and data.

References

- Antunes I.M.H.R. (2000). Contaminação associada a explorações mineiras na região de Segura. Seminário sobre geologia ambiental. Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho.
- Gaspar, M., Grácio, N., Salgueiro, R., & Costa, M. (2022). Trace Element Geochemistry of Alluvial TiO₂ Polymorphs as a Proxy for Sn and W Deposits. *Minerals*, 12, 1248. <https://doi.org/10.3390/min12101248>
- Morton, A.C. (1978). Heavy minerals. In: *Sedimentology, Encyclopedia of Earth Science*. Springer: Berlin, Heidelberg, Germany, 574-578.
- Patyk-Kara, N.G., Gorelikova, N.V., Bardeeva, E.G., & Shevelev, A.G. (2001). Mineralogy of Placers: Modern Approaches and Solutions. *Lithology and Mineral Resources*, 36 (5), 393–405. Translated from *Litologiya i Poleznye Iskopaemye*, 5, 451–465.
- Viegas, L., Rodrigues, L., Romão, J., & Cardoso Fonseca, E. (1988). Estatística univariada e cartas de médias móveis em prospecção geoquímica: aplicação à área de Zebreira-Segura (Beira Baixa). *Estudos Notas e Trabalhos*, D.G.G.M., 30, 29-36.

Characterization of magnetic concentrates (MC) from coal combustion ashes and its application in 4-nitrophenol catalytic reduction reaction

Caracterização de concentrados magnéticos de cinzas de combustão de carvão e sua aplicação na redução catalítica do 4-nitrofenol

A.C. Santos (1), I. Kuźniarska-Biernacka (2), C. Cruz (1), A. Guedes (1), H. Sant’Ovaia (1), E. Font (3,4), A.F. Peixoto (2), B.J.C. Vieira (5), J.C. Waerenborgh (5) and B. Valentim (1)

- (1) Earth Science Institute – Porto pole, Department of Geosciences, Environment and Spatial Plannings, Faculty of Sciences, University of Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169 – 007 Porto, Portugal, anasantos@fc.up.pt
 (2) REQUIMTE/LAQV, Departamento de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal
 (3) Department of Earth Sciences, University of Coimbra, Coimbra, 3030 790, Portugal
 (4) Instituto Dom Luís (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Lisboa, 1749-026, Portugal
 (5) Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares, DECN, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2695-066 Bobadela LRS, Portugal

Sumário: No presente trabalho, foram obtidos concentrados magnéticos (CMF, separado com ímã de ferrite seguido de CMNd com ímã de neodímio) de cinzas derivadas da combustão de carvão e caracterizados relativamente à distribuição granulométrica, morfologia e microtextura, composição química e mineralogia. Os CMF são mais finos e apresentam concentrações superiores de ferro face aos CMNd. Para além disso, nos CMF a concentração em ferro e outros elementos associados aumenta nas partículas finas, e nestes, as principais fases portadoras de ferro, em separado ou coexistindo, são a magnetite, hematite e a magnesioferrite embora algum ferro ocorra na fase aluminossilicatada. Os CMF foram testados como catalisadores da reação de redução do 4-nitrofenol e à exceção do proveniente da cinza de fundo, foi verificada atividade catalítica. Os CMNd contêm essencialmente vidros aluminossilicatados não sendo por isso adequados para ser utilizados como catalisadores.

Palavras-chave: separação magnética, ferrosferas, tratamento de águas residuais, catálise heterogénea

Keywords: magnetic separation, ferrospheres, wastewater treatment, heterogeneous catalysis

The Fe-bearing phases are constituents of coal combustion ashes and can be collected via magnetic separation yielding up to 18 wt.%, and 66 wt.% of Fe. Some Fe-rich particles can reach up to 300 μm (e.g., Hower et al., 1999; Sokol et al., 2002; Vassilev et al., 2004; Lu et al., 2009).

Previous research showed that Fe-rich magnetic concentrates from coal flay ash (FA) present catalytic activity for the deep oxidation of methane and oxidative coupling of methane (Anshits et al., 2011; Vereshchagin et al., 2012). Meanwhile, Kuźniarska-Biernacka et al. (2022) used MCF as catalysts in 4-nitrophenol (4-Ph) reduction reaction.

This study presents the results of the detailed characterization of the MCF and MCNd via a combination of techniques to highlight their particle size distribution, morphology and microtexture (scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy, SEM/EDS), chemical composition (X-ray fluorescence, and inductively coupled plasma mass spectrometry) magnetic parameters (magnetic susceptibility and isothermal remanent magnetization, IRM) and mineralogy (X-ray diffraction, XRD, and Mössbauer spectroscopy). Furthermore, an integrated study was made in

polished blocks combining reflected light microscopy, SEM/EDS, and Raman microspectroscopy.

The magnetic concentrates (MC) from six ash samples from Pego power plant (Abrantes, Portugal; 2 bottom ash, 2 economizer FA, 2 FA ESP) were sequentially collected via wet magnetic separation using ferrite and Nd magnets, and then dry sieved to assess chemical variations as function of particle-size.

In general, the MC from bottom ash and FA from economizer were coarser than MC FA ESP. In relation to the MCF, the MCNd recovery yield was greater (up to 50 wt.%), but the Fe_2O_3 content was lower (<8 wt.%) due to the large amount of glassy paramagnetic phases.

Regarding the MCF, collected from FA ESP although presenting low yield (<6 wt.%) had the highest Fe_2O_3 concentration (>40 wt.%) because the iron is mainly concentrated in ferrospheres (spherical morphotypes with Fe-bearing minerals embedded on the aluminosilicate glassy matrix, Fig. 1A) while in MF from bottom ash and economizer FA it was often found embedded in aluminosilicate glass (Fig. 1B).

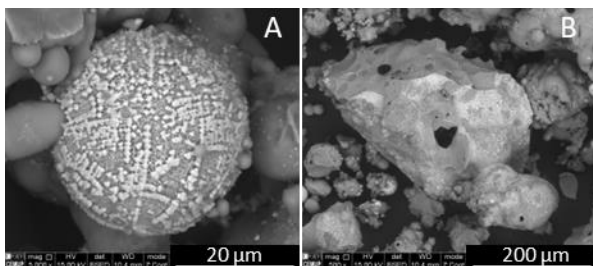


Fig. 1. Fe-bearing phases in MF (SEM/EDS BSE mode): (A) ferrosphere, (B) aluminosilicate agglomerate with Fe-crystals over the surface.

In the MCF, the Fe content along with other correlated elements (e.g., Mo and As) tend to increase with decreasing particle size, while in MCND variations are negligible.

The magnetic susceptibility is higher ($2200.06 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$) for the sample containing more ferromagnetic minerals, i.e., economizer FA, and the IRM indicates that all samples studied have a predominance of a low coercivity phase (magnetite or maghemite) and minor amounts of a high coercivity phase (hematite or goethite).

The XRD and Mössbauer spectroscopy results show that the main iron bearing phases in the MC are magnetite, hematite and magnesioferrite although some iron is found in the aluminosilicate glass.

Nevertheless, non-magnetic fractions such as aluminosilicate glass, quartz and mullite still represent a large portion of the MC (>50 wt.%), some of which associated with the Fe-bearing phases and others with the separation process efficiency.

The integrated petrographic study of the samples cross-sections provided insightful information regarding local variation of chemical composition and mineralogy, namely the identification of martitization aspects (polymorphic substitution of magnetite by hematite) and the coexistence of hematite with magnesioferrite (under polarized light similar to martitization aspects).

These characterization results were used to understand and guide tests with the Fe-MC studied as heterogeneous catalysts in the reduction of 4-NPh. Except for the BA concentrates, all MC samples showed catalytic activity and, after washing with NaOH to increase the contact area of the Fe-phases in ferrospheres (confirmed via SEM-EDS) the MC from ESP FA showed a catalytic efficiency comparable to that of noble metal nanocatalysts (Kuzniarska-Biernacka et al., 2022). These results highlight the potential of reutilization of coal FA MC in wastewater treatment and encourages research to be done in this direction.

Acknowledgements: The work was supported through the projects UIDB/50006/2020, UIDB/04683/2020, UIDP/04683/2020, UID/Multi/04349/2019, DRI-India/0315/2020 (Insub), EXPL/CTM-CTM/0790/2021 (PhotoBioTrans), POCI-01-0145-FEDER-007690. ACS for PhD scholarship SFRH/BD/131713/2017 and COVID/BD/151941/2021. IKB for funding through program DL 57/2016 – Norma transitória REQUIMTE/EEC2018/14. AFP for 2020.01614.CEECIND/CP1596/CT0007. Pego power plant (Portugal) for the coal ash samples.

References

- Anshits, A. G., Sharonova, O. M., Anshits, N. N., Vereshchagin, S. N., Rabchevskii, E. V., & Solovjev, L. A. (2011). Ferrospheres from fly ashes: Composition and Catalytic properties in high-temperature oxidation of methane. *World of Coal Ash*, Denver, CO, USA, 9–12 May 2011.
- Hower, J. C., Rathbone, R. F., Robertson, J. D., Peterson, G., & Trimble, A. S. (1999). Petrology, mineralogy, and chemistry of magnetically-separated sized fly ash. *Fuel*, 78(2), 197–203.
- Lu, S. G., Chen, Y. Y., Shan, H. D., & Bai, S. Q. (2009). Mineralogy and heavy metal leachability of magnetic fractions separated from some Chinese coal fly ashes. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1–3), 246–255.
- Sokol, E. V., Kalugin, V. M., Nigmatulina, E. N., Volkova, N. I., Frenkel, A. E., & Maksimova, N. V. (2002). Ferrospheres from fly ashes of Chelyabinsk coals: chemical composition, morphology and formation conditions. *Fuel*, 81(7), 867–876.
- Vassilev, S. v, Menendez, R., Borrego, A. G., Diaz-Somoano, M., & Rosa Martinez-Tarazona, M. (2004). Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. 3. Characterization of magnetic and char concentrates. *Fuel*, 83(11–12), 1563–1583.
- Vereshchagin, S. N., Kondratenko, E. v., Rabchevskii, E. v., Anshits, N. N., Solov'ev, L. A., & Anshits, A. G. (2012). New approach to the preparation of catalysts for the oxidative coupling of methane. *Kinetics and Catalysis*, 53(4), 449–455.
- Kuzniarska-Biernacka, I., Santos, A.C., Jarrais, B., Valentim, B., Guedes, A., Freire, C., Peixoto, A.F. (2022). Application of Fe-rich coal fly ashes to enhanced reduction of 4-nitrophenol. *Cleaner Chemical Engineering* 2, 10001.

Portuguese ball clays as a competitive alternative due to the context of European scarcity

As argilas especiais plásticas Portuguesas como uma alternativa competitiva face ao contexto de escassez na Europa

A. Silva (1), S. Moreira (1), A. Amado (1) and R. Santos (1)

- 1) CTCV – Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, iParque – Materials : Habitat, 3040-540 Antanhol, Portugal, antonio.silva@ctcv.pt.

Sumário: *As argilas especiais plásticas ou ball clays são matérias-primas estratégicas para a cadeia produtiva de diferentes subsectores cerâmicos, nomeadamente o de pavimento e revestimento. Apresentam características granulométricas, mineralógicas, geoquímicas, térmicas e reológicas que lhes conferem uma boa aptidão tecnológica, sobretudo alta plasticidade, elevada resistência mecânica em verde e em cozido e um grau de brancura adequado após cozedura. Dados de caracterização de formulações nacionais são comparados com os correspondentes da região ucraniana de Donetsk. Embora diferentes, os portugueses destacam-se no espaço europeu como uma das principais alternativas competitivas para a urgente inovação resultante contexto de escassez devido à guerra Rússia-Ucrânia. Alerta-se ainda para o risco de se exaurirem as reservas portuguesas de ball clays nas próximas décadas caso se mantenha a sua tendência de esterilização e portanto, de forma a evitar uma maior disrupção a montante, a efetiva concretização do previsto plano setorial dos recursos geológicos tornar-se-á absolutamente decisiva.*

Palavras-chave: *matérias-primas cerâmicas, blends de argilas especiais plásticas, caracterização, escassez europeia*

Key words: ceramics raw material, ball clay blends, characterization, European scarcity

Clay is usually defined as the fine-grained geological material that occurs at or near the surface of the Earth's crust as a result of meteoric or hydrothermal weathering of feldspar-rich rocks and that develops plasticity when mixed with certain amounts of water. With an extensive structural and compositional variation, they are usually classified as *special* or *common* clays, a subdivision that is closely related to their major industrial applications and the economic value of the manufactured products, processing costs, abundance and distinctive technological properties (Gomes, 2002).

Among the common clays, there is a set of red clays for structural ceramics products like bricks, roof, floor and wall tiles as well as other colored pottery clays for utilitarian terracotta ceramics. As special clays, kaolin, bentonite, fibrous clays, refractory or fire clays and plastic or ball clays stand out. Special clays, when compared to the common types, occur in smaller deposits, have simpler compositions and therefore very specific properties, requiring more complex and expensive processing (Gomes, 2002).

Here we focus on a special type of plastic clays widely known as *ball clays* which are strategic mineral raw materials for the ceramic floor and wall tiles value chain. In fact, the term ball clay was not originated from any specific property such as plasticity, but

rather from the original open pit mining method in the early twentieth century, in which the clay was initially extracted in the form of cubes. The later handling of these cubes and also parallelepiped blocks led to the curvature of its corners, showing a characteristic spherical shape and hence the ball clay designation.

Their main characteristics such as the natural plasticity and high whiteness and resistance after firing promote greater aesthetical and technological performances. It is a very plastic kaolinitic clay in which the structurally disordered kaolinite, also known as kaolinite D, can reach *ca.* 70% that is mainly associated with illite and smaller amounts of chlorite, montmorillonite, quartz and colloidal organic matter. However, it is important to mention that the mixing of ball clays with other clay materials, recognized as blends, has been an increasingly the common practice nowadays, if not widespread throughout the entire wall and floor tiles ceramics subsector.

Accordingly, this comparative essay intends to attest the available ball clay products (after processing and mixing *i.e.* blending) in the Portuguese market which derive from the following mining districts of origin (Barracão-Leiria, Redinha-Pombal, Aguada-Águeda). Characterization data from Portuguese ball clay blends are compared with corresponding ones from

eastern Ukraine, the former leading region with regards to kaolins and ball clays production and responsible for the majority of the European supply.

Given the current European context of scarcity, due not only to the escalation of the Russia-Ukraine war in 2022, but also to the effects of the increase in global demand for mineral raw materials after the Covid-19 pandemic and the surge of transportation costs, Portuguese raw materials suppliers have been reached out by major industrial clusters mostly located in Spain and Italy to partially fill the gap left out by the recent Ukrainian shortage. Indeed, they were heavily dependent on the stock of special clays from Ukraine, both kaolin and ball clays and so, in the meantime, they have made significant efforts to urgently adapt to the supply disruption, immediately resorting to the best alternatives in the market, allowing them to mitigate the inherent uncertainties regarding their dependency on Ukraine.

This is certainly a major challenge since there is a distinct quality and abundance of clays in eastern Ukraine, as some relevant papers in the field have highlighted (*e.g.*, Galos, 2011; Zanelli *et al.*, 2015). Plastic clays from the Donetsk region are highly suitable for the production of floor and wall tiles, but also porcelain and sanitary ware as they clearly show low contents of quartz and organic matter, high amounts of kaolinite D and interstratified illite and illite/smectite accompanied by a low Fe₂O₃ content.

Furthermore, these key characteristics explain the excellent technological properties of the Ukrainian ball clays, such as their high whiteness and low water absorption after firing and, particularly, their high plasticity and adequate rheological behavior that comes from the peculiar conjunction of mineralogical and granulometric factors that are difficult to be reproduced by beneficiation and/or blending processes (Zanelli *et al.*, 2015).

The Portuguese reserves of special plastic clays are by no means as abundant as those that lie in Ukraine but, nevertheless, they are comparable with reserves located in other European territories (*e.g.*, Germany, Czechia, Poland and the United Kingdom).

The commercial Portuguese ball clay blends show coarser grain sizes when compared to the extremely fine-grained Ukrainian counterparts. The National blends show SiO₂/Al₂O₃ ratios between 2,00 and 2,95 which supports a strong compositional variability and the Ukrainian equals have lower SiO₂/Al₂O₃ ratios (1,90-2,40), hence revealing their higher abundance in phyllosilicates. Additionally, as expected, the set of Ukrainian blends show Fe₂O₃ concentrations (0,73-1,15%), lower than the Portuguese ones (1,58-2,60%), thus promoting a much lighter color (white-cream) to the ceramic bodies after firing.

Dry flexural strength values for National blends (36,00-65,00 kgf/cm²) and the Donetsk region ball clays (53,00-92,80 kgf/cm²), demonstrate that both are suitable for an adequate conformation processing and further handling. As for water absorption, the Portuguese (1,0-4,6%, 1200 °C) contrasts significantly with the Ukrainian (0,16-0,68%, 1250 °C). In terms of dry-firing shrinkage, the National blends interval (6,5-8,7%, 1200 °C) is suggestive of a higher margin for the evolutionary path of the sintering phenomena which is quite suitable for more refractory compositions. The Ukrainian show a slightly wider range (4,7-8,8%) coupled by substantially lower water absorption values, indicative that the average sintering evolution at 1250 °C is in a more advanced state.

Finally, it is also critical to point out that there is a depletion risk of the Portuguese ball clays reserves over the next few decades if the trend towards sterilization of its deposits continues and so, in order to avoid a stronger disruption of the upstream supply, the accomplishment of the ongoing mineral deposits' national strategy and sectorial plan will be absolutely decisive (Article 73rd of the Decree-Law n.º 30/2021).

Acknowledgments: The authors are thankful to the National and European entities that finance CTCV as a Technology and Innovation Center – CTI. A very special gratefulness to the mining companies that feed the Portuguese Ceramic Industry with their strategic and rather scarce mineral raw materials (Aldeia S.A., Corbário Minerais Industriais S.A., Lagoa Group, Mota Ceramic Solutions Group and Simões de Sá Pereira S.A.).

References

- Galos, K. (2011). Composition and ceramic properties of ball clays for porcelain stoneware tiles manufacture in Poland. *Applied Clay Science*, 51, 74-85.
- Gomes, C.S.F. (2002). *Argilas: Aplicações na Indústria*. O Liberal, Aveiro, 338 pp (*in portuguese*).
- Zanelli, C., Iglesias, C., Domínguez, E., Gardini, D., Raimondo, M., Guarinia, G. & Dondi, M., (2015). Mineralogical composition and particle size distribution as a key to understand the technological properties of Ukrainian ball clays. *Applied Clay Science*, 108, 102-110.

Estudo preliminar de areias da costa da Guiné (Conacri)

Preliminary study of sands from Guinea (Conakry) coast

T. Soares (1), L. Catarino(2), F.P. Figueiredo(3) e F. Pita (4)

- (1) Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, tfilipa.soares@gmail.com
- (2) Centro de Geociências (CGEO), Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra,
- (3) Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra
- (4) Centro de Geociências (CGEO), Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra

Summary: Geological resources have been exploited since the beginning of Humanity. With the evolution of needs and technology, the constraints on quarries and mines have also been modified. The present work constitutes a small contribution to the identification and characterization of minerals other than quartz, present in six samples (GK1 to GK6) of sand collected in alluvial zones of the Atlantic coast near the city of Conakry, located in the country of Guinea, which belongs to West Africa. Each sample was separated/concentrated by a hydrogravitic process on a Wilfley table. The denser material was subsequently separated in an electromagnetic separator, obtaining different products depending on the intensity of the magnetic field used. After it was chemically characterized by X-ray fluorescence and SEM-EDS, and mineralogical characterized by X-ray diffraction. Generically, the six samples present in their constitution particles of quartz, rutile, ilmenite, magnetite, zircon and chromite.

Key words: Heavy sands, hydrogravitic separation, magnetic separation, chemical and mineralogical characterization

Palavras-chave: Areias pesadas, separação hidrogravítica, separação magnética, caracterização química e mineralógica

Introdução

Os recursos geológicos são explorados desde o início da Humanidade sendo deles retirado o maior proveito possível para a época em que se enquadram. Com o evoluir das necessidades e da tecnologia, as condicionantes das explorações mineiras também têm sido modificadas.

No caso da exploração de minerais industriais (metálicos ou não) o processo de desmonte mais generalizado implica a fragmentação de blocos de rocha com conteúdo mineral/metálico superior ao economicamente rentável.

Uma das formas de minimizar o esforço técnico de processamento dos materiais geológicos, bem como o consumo de energia necessário à fragmentação, é recorrer à exploração de formações sedimentares, consolidadas ou não, que funcionam como acumuladores de partículas minerais resultantes da erosão dos depósitos minerais primários para dar origem a depósitos secundários.

Os minerais ilmenite (FeTiO_3), rutilo (TiO_2) são considerados minerais críticos para a produção de titânio, enquanto o zircão ($(\text{Zr,Hf})\text{SiO}_4$) é a principal fonte de zircónia (ZrO_2), zircónio (Zr), e háfnio (Hf). Este grupo de minerais é frequentemente designado

por minerais pesados valiosos devido ao seu potencial uso em tecnologias avançadas e a percentagem do total de minerais pesados identificado como orientador em minas que se encontram atualmente em fase operacional varia entre 0,8 e 15% (Elsner, 2011 in Bisschop, 2015)

O presente trabalho constitui um pequeno contributo para a identificação e caracterização de minerais distintos do quartzo, presentes em seis amostras (GK1 a GK6) de areia recolhidas em zonas aluvionares da costa atlântica próximas da cidade Conakry, capital na Guiné localizada na África Ocidental. Esta região encontra-se entre dois polos potenciais de mineração de areias minerais pesadas (Heavy Mineral Sands – HMS) já identificados (Subasinghe et al., 2022) sendo, no entanto, considerada como potencial para a exploração de outros minerais.

Metodologia

Numa primeira fase as amostras foram separadas gravimetricamente, por mesa vibratória Wilfley, dando cada amostra origem às frações estéril (menos densa), mista e concentrada (mais densa).

Numa segunda fase as amostras foram separadas magneticamente, começando pela separação por

ímã manual e de seguida por uma separação eletromagnética com diferentes amperagens (0,4 A; 0,8 A e 1,5 A), originando para cada amostra 3 subfrações magnéticas e uma não magnética (isto é, não atraída no separador magnético em nenhuma das magnitudes consideradas até ao máximo admissível do equipamento, 1,5 A). Procedeu-se à quantificação percentual de cada uma das frações que foram seguidamente analisadas por outras técnicas para caracterização química e mineralógica. Para a caracterização química foram efetuadas análises de fluorescência de raios X e microscopia eletrónica de varrimento com espectroscopia dispersiva de raios-X (SEM-EDS). Para a caracterização mineralógica realizaram-se análises de difração de raios X pelo método de poeiras de cada parcela das amostras.

Resultados

Os resultados obtidos para as várias amostras apresentam-se distintos quer em termos mineralógicos quer em termos de diferenciação magnética.

Em todos os concentrados verifica-se a presença de quartzo, em quantidades significativas, resultado de uma separação densitária não perfeita. A obtenção de um concentrado sem quartzo poderia conduzir a perda de minerais pesados no estéril da mesa. É impossível obter concentrados muito puros e

recuperações elevadas com as quantidades de amostra disponíveis, sendo necessária a adaptação de outros parâmetros geométricos/caudal de água à mesa de separação ou recorrendo à separação por meios densos.

Genericamente as seis amostras apresentam na sua constituição minerais de quartzo, rútilo, ilmenite, magnetite, zircão e cromite. A amostra GK2 é a que apresenta resultados mais interessantes, uma vez que apresenta uma grande percentagem do elemento crómio. Além deste elemento a amostra apresenta percentagens significativas de ferro, titânio e zircónio. O conjunto de elementos detetados indica que esta amostra seja composta essencialmente por cromite, ilmenite, zircão e rútilo. A análise SEM-EDS permitiu identificar a presença de dois elementos químicos pertencentes ao grupo dos elementos pesados das terras raras, que são o térbio (Tb) e o disprósio (Dy), mas em percentagens reduzidas (Soares, 2014), não sendo evidente o elemento tório (Th) considerado elemento indicativo de terras raras.

Considerações finais

Embora os resultados obtidos não sejam muito animadores para todos os elementos detetados, a sua presença justifica futuros trabalhos com uma taxa de amostragem maior e uma maior quantidade de material amostrado.

Agradecimentos: Os autores agradecem a recolha e cedência das amostras analisadas ao Dr. João Correia Marques e a colaboração do Eng. António Fonseca do LED&MAT (IPN) na realização dos ensaios de SEM.

Referências

- Bisschop, D.G.R. (2015) Heavy Mineral Sands Exploration in the Republic of Guinea. Master of Science In Applied Earth Sciences, Delft University of Technology
- Soares, T.F.B. (2014). Estudo exploratório de areias pesadas da Guiné-Conakry. Dissertação de Mestrado em Geociências, Ramo Recursos Geológicos. Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Subasinghe, C.H., Ratnayake, A.S, Roser, B., Sudesh, M., Wijewardhana, D.U., Attanayake, N. & Pitawala, J. (2022). Global distribution, genesis, exploitation, applications, production, and demand of industrial heavy minerals. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 1616. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10874-0>.

Iridium needs for the development of an European hydrogen economy and possible bottlenecks on its global supply chain

Necessidades de irídio para o desenvolvimento de uma economia europeia de hidrogénio e possíveis estrangulamentos na sua cadeia de abastecimento global

B. Teixeira (1), M. Brito (1) and A. Mateus (1)

(1) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz (IDL), 1749-016 Lisboa Portugal, bdteixeira@fc.ul.pt

Resumo: A economia do hidrogénio é uma visão ambiciosa intimamente associada aos programas de neutralidade carbónica e transição energética. Uma das prioridades da política energética da União Europeia (UE) consiste na produção/uso de hidrogénio limpo, almejando 40 GW através da instalação de eletrolisadores nos Estados Membros até 2030. A membrana polimérica PEM é uma solução tecnológica de tendência em eletrolisadores para hidrogénio limpo que utiliza quantidades significativas de irídio (Ir) nos catalisadores. Mantendo-se os requisitos materiais, a procura de Ir pela UE implicará aumentos na demanda deste metal entre 33% e 148% até 2030, estimulando o crescimento da produção primária, para além de reajustes nos preços, os quais já dispararam em 2021. Uma vez que a quota de mercado para eletrolisadores poderá representar até 57% da demanda de Ir na UE, a possível escassez de abastecimento de Ir, ou preços mais altos, poderão colocar em risco muitos dos projetos anunciados.

Palavras-chave: economia de hidrogénio, eletrolisadores, irídio, União Europeia

Keywords: hydrogen, hydrogen economy, electrolyzers, iridium, European Union

Energy transition programs are crucial to the ongoing social-economic changes towards sustainable development models, and hydrogen, especially clean hydrogen (or “green,” meaning the electricity used to run electrolyzers and generate hydrogen comes from renewable sources), enjoys strong momentum. The European Union (EU) hydrogen roadmap envisages 40 GW of clean hydrogen by the end of 2030, with 6 GW already in place by 2026 (EC, 2020). Currently, alkaline and polymer membrane exchange (PEM) are the two leading technologies in the market for electrolyzers. The former is a well-established solution, but the latter should be increasingly used during the present decade, primarily due to its higher versatility and modular character (Kiemel et al., 2021; Minke et al., 2021). However, the material requirements for manufacturing PEM electrolyzers are higher, namely in what concerns catalysts, which include iridium (Ir) and platinum (Pt).

Ir is routinely incorporated in electrodes used in electrochemical processes, electronics, process catalysts, and ignition tips on premium spark plugs (Johnson Matthey, 2022). For these applications, Ir has no known viable substitutes. Therefore, the future impact of PEM electrolyzers on the global Ir market is challenging to evaluate.

As we assess the Ir needs for electrolyzers up to 2030, none of the newly built electrolyzers will be

decommissioned in time to provide recyclable amounts of this metal. Nonetheless, the current range of Ir recycling rate from end-of-life (EOL) products is >25-50% (UNEP, 2011), which significantly reduces the reliance on primary production, unless the demand experiences a sudden (and long-lasting) growth. In such a scenario, the pressure on primary production (mining and subsequent ore transformation) will inevitably increase.

Different growth scenarios for the Ir demand in the short run could be explored considering the metal intensity and the market share of PEM electrolyzers in relation to the known uses of Ir in competing applications. The performed appraisals pondered the Ir intensity in PEM electrolyzers, which varies between 0.7 and 1.4 kg/MW depending on the technological model used (Bareiß et al., 2019; Kiemel et al., 2021). A parity deployment of alkaline and PEM electrolyzers is expected by 2024, which will stand throughout the decade (e.g., IEA, 2022; Kiemel et al., 2021). Still, a transitional scenario was assessed, assuming a market share repartition of 75%/25% for alkaline and PEM electrolyzers, respectively. Finally, the appraisals presume that the remaining iridium market will remain the same until 2030 or that it will steadily increase throughout the same period.

The results show a total Ir demand for electrolyzers in the EU between 7 and 28 tons until 2030, which will

induce a market growth between 33 and 148% in relation to the figures recorded in 2022. The EU market share of Ir demand may reach between 23 and 57% in 2030. The greatest percentage rises reflect higher material intensities and higher market uptake by PEM electrolyzers, whereas the lower values denote lower material intensities and reduced market shares of PEM electrolyzers. In any case, the results clearly indicate future impacts in the global Ir market driven by the demand for PEM electrolyzers, which will increase the pressure on the primary production of this metal since the available recycled quantities will hardly be able to supply the increase in demand in such a short period. Moreover, the projections for Ir demand are bound to increase remarkably when the potential needs of other economic regions for PEM electrolyzers are considered.

Iridium is a by-product of platinum mining and, therefore, always dependent on the production of the latter metal. Furthermore, Ir refining is expensive, so companies are only encouraged to increase production when prospects for market prices are favorable. The latest production data for 2020 (USGS, 2023) uncovered a record 8.1 tonnes of Ir production when the average price was 1634 \$/oz t. For 2021 the average price was 5158 \$/oz t, and 4665 \$/oz t for 2022. The price increase may be an indicator of a short supply and a race from companies to increase

stocks ahead of possible future shortages. Moreover, the current production hegemony could generate further stability problems in the global supply chain. In fact, South Africa ensures 83% of the global Ir production, complemented by outputs from Canada (4%), Russia (3%), and Zimbabwe (10%). It would be up to these countries to increase production in accordance with the demand increase. Considering only the EU electrolyzer needs, the demand could rise to 19.6 tons per year in 2030. In the longer run, however, it will be necessary to intensify investments in mineral exploration endeavors to delimit new resources of platinum group elements and characterize the ore mineral constituents in detail.

The development of a hydrogen economy based on PEM electrolyzers presents several vulnerabilities, among which stands up those related to the security of Ir supply at affordable costs. More research is needed to steeply reduce the material intensity of Ir on PEM electrolyzers or find feasible alternatives to the Ir coatings on the catalysts. Additionally, other viable and readily available alternatives to develop a hydrogen economy should be considered. Low-carbon hydrogen options like “blue hydrogen”, “turquoise hydrogen”, or “pink hydrogen” (Ajanovic et al., 2022) are available and will likely be a mix of all these technologies that will enable a sustained hydrogen economy.

Acknowledgments: This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds (PIDDAC) – UIDB/50019/2020-IDL and IDL research grant UI/BD/151496/2021

References

- Ajanovic, A., Sayer, M. & Haas, R. (2022). The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy* 47, 24136–24154.
- Bareiß, K., de la Rua, C., Möckl, M. & Hamacher, T. (2019). Life cycle assessment of hydrogen from proton exchange membrane water electrolysis in future energy systems. *Applied Energy* 237, 862–872.
- European Commission (2020). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe.
- IEA (2022). *Global Hydrogen Review 2022*.
- Johnson Matthey (2022). Two key focus areas will ensure iridium availability does not stall electrolyser growth. 8p
- Kiemel, S., Smolinka, T., Lehner, F., Full, J., Sauer, A. & Mieke, R. (2021). Critical materials for water electrolyzers at the example of the energy transition in Germany. *Int J Energy Res* 45, 9914–9935.
- Minke, C., Suermann, M., Bensmann, B. & Hanke-Rauschenbach, R. (2021). Is iridium demand a potential bottleneck in the realization of large-scale PEM water electrolysis? *International Journal of Hydrogen Energy* 46, 23581–23590.
- UNEP (2011). *Recycling Rates of Metals – A Status Report*, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. 48pp
- USGS Platinum-Group Metals Statistics and Information Minerals. <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/platinum-group-metals-statistics-and-information>, last accessed 2023/01/03

Applied petrography in spent lithium-ion batteries (LIBs) recycling: evaluation of binder removal after pyrolysis

Petrografia aplicada à reciclagem de baterias de lítio gastas: avaliação da remoção do ligante depois de pirolisado

B. Valentim (1), C. Badenhorst (1), L. Ånnhagen (2), A. Guedes (1), X. Hu (2), E. Mousa (2,3), K. Moreira (1), A.C. Santos (1) and G. Ye (2)

(1) Earth Science Institute – Porto pole, Department of Geosciences, Environment and Spatial Plannings, Faculty of Sciences, University of Porto, rua do Campo Alegre s/n, 4169 – 007 Porto, Portugal, bvvalent@fc.up.pt

(2) SWERIM AB, Aronstorpsvägen 1, SE-974 37 Luleå, Sweden

(3) Central Metallurgical Research and Development Institute (CMRDI), Cairo 12422, Egypt

Sumário: Neste trabalho apresenta-se a descrição resultante da análise petrográfica avançada de materiais relevantes que compõem baterias de lítio usadas. Assim como o papel da petrografia no esclarecimento das transformações sofridas pelo ligante após pirólise a 650 °C com o objectivo de recuperar a grafite do ânodo.

Palavras-chave: grafite do ânodo, PVDF, óxidos metálicos de lítio, pirometalurgia

Key words: anode graphite, PVDF, lithium metal oxides, pyrometallurgy

The increasing consumption of lithium-ion batteries (LIBs) is crucial for energy transition but is also a challenging issue in terms of the environment and the sustainability of primary resources. Thus, the recycling of LIBs is a priority for the European Union due to the accumulation of large volumes of spent LIBs, and the economic cost and risk of supply of raw materials, such as graphite, lithium, and cobalt, that are found in LIBs.

In this sense, under the scope of the project NEXT-LIB (ERA-MIN program), black mass samples from spent LIBs were pyrolysed to eliminate the binder and recover graphite. To better understand the composition of the black mass studied and the pyrometallurgical results, advanced petrographic characterization was made, i.e., a combination of reflected light optical microscopy with UV-light and scanning electron microscopy with X-ray micro analysis (SEM-EDS) using as received and polished blocks samples (Mousa et al., 2023).

A summary of the optical properties of the relevant materials identified is presented in Table I. This characterization was subsequently used to track their transformations.

Since the LIBs' anode is composed of anode graphite particles bound together by binder and packed against the Cu foil, their recovery depends on the removal of the binder. After petrographic analysis it was confirmed that the binder of the black mass sample studied is polyvinylidene fluoride (PVDF; - $(C_2H_2F_2)_n$ -), a polymer unstable above 375 °C, which was a key finding for the decision to carry out

pyrolysis trials at 650 °C in order to remove the PVDF without affecting graphite.

During these trials, it was observed that volatile organic compounds (conductive salt, PVDF binder, and an organic separator such as polypropylene) evaporate. Thus, it was expected that after pyrolysis the PVDF would be removed and the lithium metal oxides (LMOs) and the anode graphite particles would be loose and easy to collect. However, that was not the case and petrographic analyses were made again to try to find the origin of the problem.

The petrographic analyses showed that the cathode chunks (consisting of LMOs) were partially decomposed, which indicates the loss of elements, the distance between the particles was larger, and some unpacking occurred, but the particles were still bound together. In the case of the anode chunks, the graphite particles showed no sign of thermal alteration or unpacking, but the reflected light analysis revealed an increase in the graphite reflectance.

Meanwhile, no fluorescent materials were observed under reflected UV-light optical microscopy analysis of these materials, which confirmed the volatilization of the PVDF binder, but didn't answer the question: why are the anode and cathode chunks still packed?

A thorough analysis using SEM-EDS showed that anode graphite surfaces were still covered with a thin film of material containing fluorine, which is the PVDF signature. Finally, micrometric cuboids of fluorine were observed and formed in this film, and sub-

micrometric (0.1-0.2 μm) bridges of charred PVDF were observed binding adjacent anode graphite particles (Fig. 1).

It is concluded that advanced petrography was a crucial tool to track the PVDF binder before and after pyrolysis. The effect of pyrolysis on LMOs and anode graphite in spent LIBs was highlighted, namely that the LMOs are partially decomposed, and that the binder is thermally transformed, but not removed, which leads to the packing of the anode graphite chunks remaining.

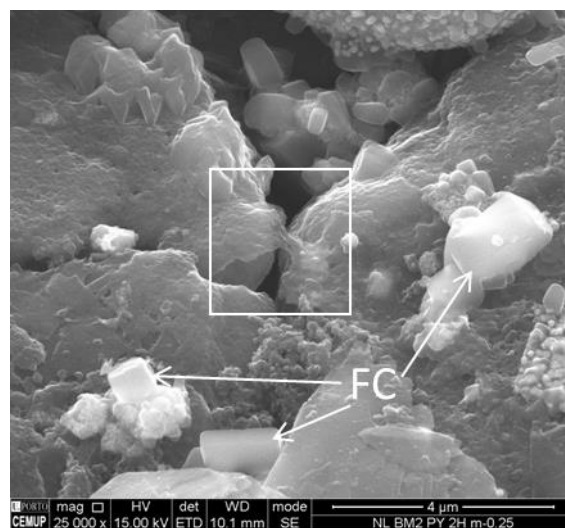


Fig. 1. SEM analysis of black mass after pyrolysis ($\times 25\,000$; Secondary electron mode): White square) adjacent anode graphite particles bridged by charred PVDF; FC) fluorine cuboids formed after PVDF cracking.

Table I Petrographic characterization of LIBs materials.

	Shape	RWL	RWL, Nic. +	RWL, Nic. +, 1λ	RUV-L	SEM-EDS
Al foils	Elongated, folded	Light grey	Light grey	Violet	Non-fluorescent	Very folded, intense white, Al peak
Cu foils	Elongated, folded	Light copper	Light copper	Redish	Non-fluorescent	Very folded, intense white, Cu peak
Lithium metal oxides						
LCO (LiCoO)	Elongated, rectangular, angular, twinned	Light blue, light gray, white	Light lilac, light gray, light blue	Violet, light violet	Non-fluorescent	Light grey, single grain layered angular particles. Li, Co, O peaks
LMNO (Li, Mn, Ni, CoO)	Circular, 5-25 μm	White	White and light grey	Violet	Non-fluorescent	Spherical multigrain framboids. 5-25 μm . Li, Mn, Ni, Co, O peaks
LMO (LiMnO)	Circular, 5-25 μm	Light blue	Light blue	Violet	Non-fluorescent	Spherical multigrain framboids. 5-25 μm . Li, Mn, O peaks
Anode graphite	Circular, dense or flakes. <25 μm	Golden brown	White, dark, sweeping extinction	Yellow, light blue, violet, sweeping	Non-fluorescent	Red blood cell shaped, graphene layers, C peak
PVDF binder	irregular, thin films	Grey	Dark	Dark	Fluorescent	Dark, thin films, C, O, F peaks

Acknowledgments: This work was carried out with the support of the ERA-MIN2 programme (2018), the European Commission, and the respective national financier represented in VINNOVA, Sweden (Project no. 2019-03473), and FCT, Portugal (ref. ERA-MIN/0003/2018) through the project COMPETE 2020 (UIDB/04683/2020), POCI-01-0145-FEDER-007690 to the project “Novel Circular Economic Approaches for Efficient Extraction of Valuables from Spent Li-Ion Batteries (NEXT-LIB)”.

References

Mousa, E., Hu, X., Ånnhagen, L., Ye, G., Cornelio, A., Fahimi, A., Bontempi, E., Frontera, P., Badenhorst, C., Santos, A.C., Moreira, K., Guedes, A. & Valentim, B. (2023). Thermal Treatment and Characterisation of the Black Mass from Spent Lithium-ion Batteries. Sustainability, 15, 15. <https://doi.org/10.3390/su15010015>.

Applied petrography in spent lithium-ion batteries (LiBs) recycling: can we separate everything?

Petrografia aplicada à reciclagem de baterias de lítio gastas: será que podemos separar tudo?

B. Valentim (1), C. Badenhorst (1), A. Guedes (1), I. Kuzniarska-Biernacka (2), E. Mousa (3,4), A. C. Santos (1), G. Ye (3)

(1) Earth Science Institute – Porto pole, Department of Geosciences, Environment and Spatial Plannings, Faculty of Sciences, University of Porto, rua do Campo Alegre s/n, 4169 – 007 Porto, Portugal, bvvalent@fc.up.pt

(2) REQUIMTE/LAQV, Department of Chemistry and Biochemistry, Faculty of Science, University of Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal.

(3) SWERIM AB, Aronstorpsvägen 1, SE-974 37 Luleå, Sweden

(4) Central Metallurgical Research and Development Institute (CMRDI), Cairo 12422, Egypt

Resumo: Neste trabalho, apresenta-se uma breve descrição de um processo integrado para a recuperação de grafite do ânodo de baterias de lítio usadas. A ideia e o acompanhamento dos resultados experimentais foram sobretudo baseados na informação petrográfica. Na experimentação, por tentativa-erro, combinaram-se a lixiviação ácida e métodos de separação física, o que permitiu separar os fragmentos de folhas de Cu e de Al, a grafite do ânodo e os restantes elementos do cátodo (em solução).

Palavras-chave: grafite do ânodo, PVDF, óxidos metálicos de lítio, hidrometalurgia

Key words: anode graphite, PVDF, lithium metal oxides, hydrometallurgy

After recollecting LiBs, their recycling starts with shredding, which releases liquid electrolyte and mix all the components. Separating and recovering graphite, lithium and other valuable elements from LiBs is a challenging process (Mousa et al., 2023):

- High temperature pyrometallurgical processes are simple and efficient for Co, Ni and Cu recovery, but lithium and graphite are lost while hazardous gases form;
- Low temperature pyrometallurgical processes are not so efficient because the binder is not completely removed;
- In the hydrometallurgical approach, graphite ends up in the leaching residue. Additionally, these processes have to be operated carefully to minimize the fire risk due to the flammable electrolyte.

A thorough petrographic characterization, complemented with geochemical and mineralogical analyses, was made in a sample of lithium manganese-rich black mass (BM) from shredded LiBs and the different materials identified included: fragments of Al and Cu foils, anode chunks, cathode chunks, single particles of lithium metal oxides (LMO)

and anode graphite, Cu wires, glass fibers, polymers and “others”.

Sieving showed that this sample is composed of 55 wt.% of particles coarser than 250 μm and only 5 wt.% below 25 μm . In the fraction >250 μm , fragments of Al and Cu foils (very deformed), smashed cathode chunks and chunks of a mixture apparently recycled materials of LMO, anode graphite and alumina, are abundant.

Below 250 μm there is a large amount of LMO and graphite chunks, but it is in the fraction <25 μm where single particles of LMO and anode graphite predominate.

So, the fraction <25 μm seems excellent for recovering anode graphite, but this fraction amount is too low (5 wt.%) while anode graphite in coarser fractions is bound by binder and mixed with something else. Thus, three different approaches in bibliography related with the binder removal were analysed:

- Removing the binder via roasting or pyrolysis. However, the binder remains as char, LMOs decompose, and the graphite structure changes and causes toxic gas emissions;

- Removing the binder via dissolution with organic solvents. However, some graphite exfoliates and some binder remains, which is very difficult to sieve and filtrate. Also, there is a risk of ignition and it is an expensive process;
- Leave the binder while dissolving the LMO using weak or strong acids.

Taking into account petrographic information previously obtained, it was decided to dissolve the LMOs with a weak acid and combining it with physical separation processes (milling, soft attrition, sieving, ultrasonication, gravimetry and electrostatic separation). The results were assessed in detail through petrographic observations which were complemented by geochemical and mineralogical analysis.

To separate Al and Cu foils, the >250 µm fraction was leached and a solution containing Li, Mn, Ni, and Co was recovered. In the solid residues, a F-rich porous material was found confirming the leaching of LMOs (Fig. 1). Foils of Al and Cu were separated via sieving at 500 µm (Fig. 2A), and anode graphite chunks at 250 µm, while organic polymers were separated via floating in water. The anode graphite chunks were then unpacked via ultrasonication and soft attrition till passing the 75 µm sieve.

Similar trials were carried out with the <250 µm fraction, but using 45 µm and 25 µm sieves.

At the end of these experiments, concentrates of valuable materials were obtained: Al and Cu foils, a lithium-cobalt-nickel-manganese rich solution, and three anode graphite-rich products with up to 88 wt. % total carbon (Fig. 2).

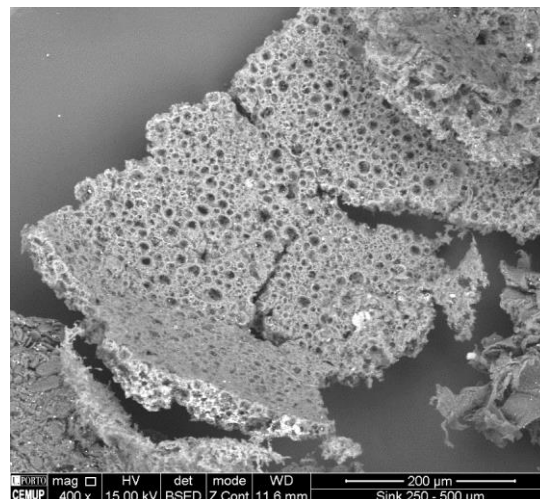


Fig. 1. PVDF binder without LMO after leaching (SEM, BSED, ×400).

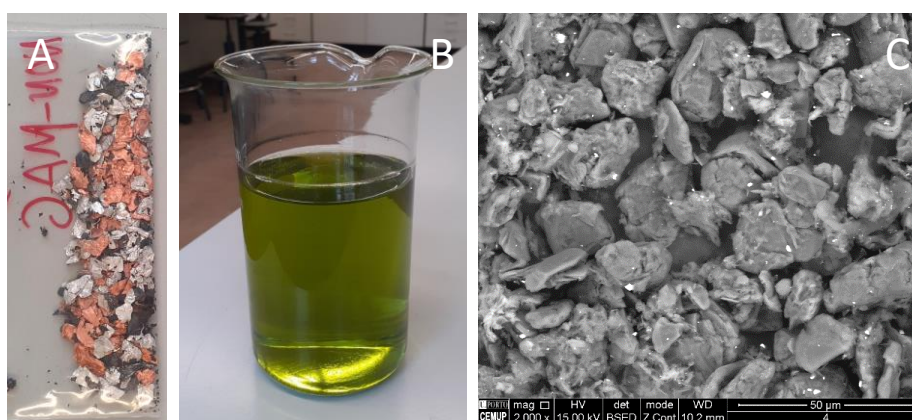


Fig. 2. LIBs concentrates: A) fragments of Al and Cu foils; B) solution with Li, Mn, Ni and Co; C) anode graphite single particles (SEM, BSED, ×2000).

Acknowledgments: This work was carried out with the support of the ERA-MIN2 programme (2018), the European Commission, and the respective national financier represented in VINNOVA, Sweden (Project no. 2019-03473), and FCT, Portugal (ref. ERA-MIN/0003/2018) through the project COMPETE 2020 (UIDB/04683/2020), POCI-01-0145-FEDER-007690 to the project “Novel Circular Economic Approaches for Efficient Extraction of Valuables from Spent Li-Ion Batteries (NEXT-LIB)”.

References

Mousa, E., Hu, X., Ånnhagen, L., Ye, G., Cornelio, A., Fahimi, A., Bontempi, E., Frontera, P., Badenhurst, C., Santos, A.C., Moreira, K., Guedes, A. & Valentim, B. (2023). Thermal Treatment and Characterisation of the Black Mass from Spent Lithium-ion Batteries. *Sustainability*, 15, 15. <https://doi.org/10.3390/su15010015>

Caracterização Mineralógica do minério do Jazigo de Ferro de Cabeço de Mua (Moncorvo)

Mineralogical Characterization of the ore from Cabeço de Mua (Moncorvo) Iron Deposit

R. Vianez (1), J. M. Dias (1), H. Sant'Ovaia (1,2), A. Guedes (1,2), C. Cruz (1,2), J. Ferreira (1,2) e F. Noronha (1,2)

(1) Departamento de Geociências Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal

(2) Instituto de Ciências da Terra, Pólo-Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal

ricardo.silva@fc.up.pt

Summary: To characterize the Ore Minerals of the Cabeço de Mua deposit, petrographic, metallographic, scanning electron microscope and Raman microspectroscopy studies were conducted. Quartz, hematite and goethite were identified as the main minerals present, although aluminosilicates, magnetite and minor phosphates also occur. Due to the richness and heterogeneity of the studied samples, further detailed studies are required to improve the characterization of the ore.

Keywords: SEM-EDS, Iron Ore, Microspectroscopy Raman, Petrography, Metallography

Palavras-chave: MEV-EDE, Minério de Ferro, Microespectroscopia Raman, Petrografia, Metalografia

O jazigo de ferro de Cabeço de Mua pertence ao Complexo mineiro de Ferro de Moncorvo (Urbano et al., 2015), estendendo-se ao longo da Serra do Reboredo e Cabeço de Mua, nas proximidades de Torre de Moncorvo. Geologicamente, o jazigo de Cabeço de Mua pertence à Zona Centro-Ibérica (ZCI), zona tectonoestratigráfica autóctone, muito homogénea do ponto de vista estrutural, magmático, metamórfico e litoestratigráfico (Julivert et al., 1974). O Sinclinal de Moncorvo, estrutura que alberga o jazigo, é composto por rochas metassedimentares do Supergrupo Dúrico-Beirão, mais concretamente do Grupo do Douro (Urbano, 2017) (Fig. 1).

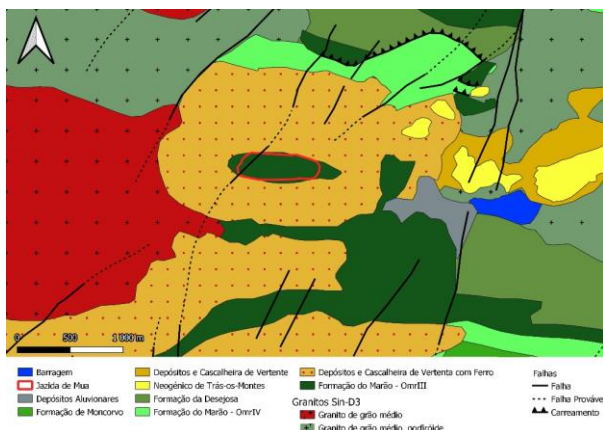


Fig. 6 - Mapa geológico da região de Moncorvo (adaptado de (Pereira et al., 2009).

O objetivo deste trabalho é a caracterização do minério de Cabeço de Mua com recurso, não só ao

estudo petrográfico e metalográfico, mas também por Microscopia Eletrónica de Varrimento com espectroscopia por fluorescência de raios-X (MEV-EDE) e por Microespectroscopia Raman. Os estudos foram levados a cabo no Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e no Centro de Materiais da Universidade do Porto.

Foram estudadas seis secções polidas de minério de ferro e três lâminas delgadas da rocha encaixante.

As amostras são predominantemente constituídas por quartzo, hematite e goetite, e possuem magnetite, diferentes aluminossilicatos e fosfatos como acessórios (Fig. 2). Frequentemente, encontram-se evidências de martitização, em que a magnetite está parcial ou totalmente substituída por hematite.

Recorrendo a MEV-EDE foram ainda identificados: i - Óxidos de Ferro com Alumínio, Fósforo e Silício; ii - Fosfatos de Ferro com Alumínio e Sódio; iii – Óxidos de Ferro com Alumínio, Fósforo e Manganês (Fig. 3).

Os aluminossilicatos aparentam ser minerais de alteração dos óxidos de ferro, e têm provavelmente origem supergénica.

Tendo em conta os resultados obtidos e a relevância da obtenção de minérios de ferro, deve realçar-se a importância de efetuar uma caracterização mais detalhada deste minério e das suas fases fosfatadas à luz dos novos avanços metodológicos.

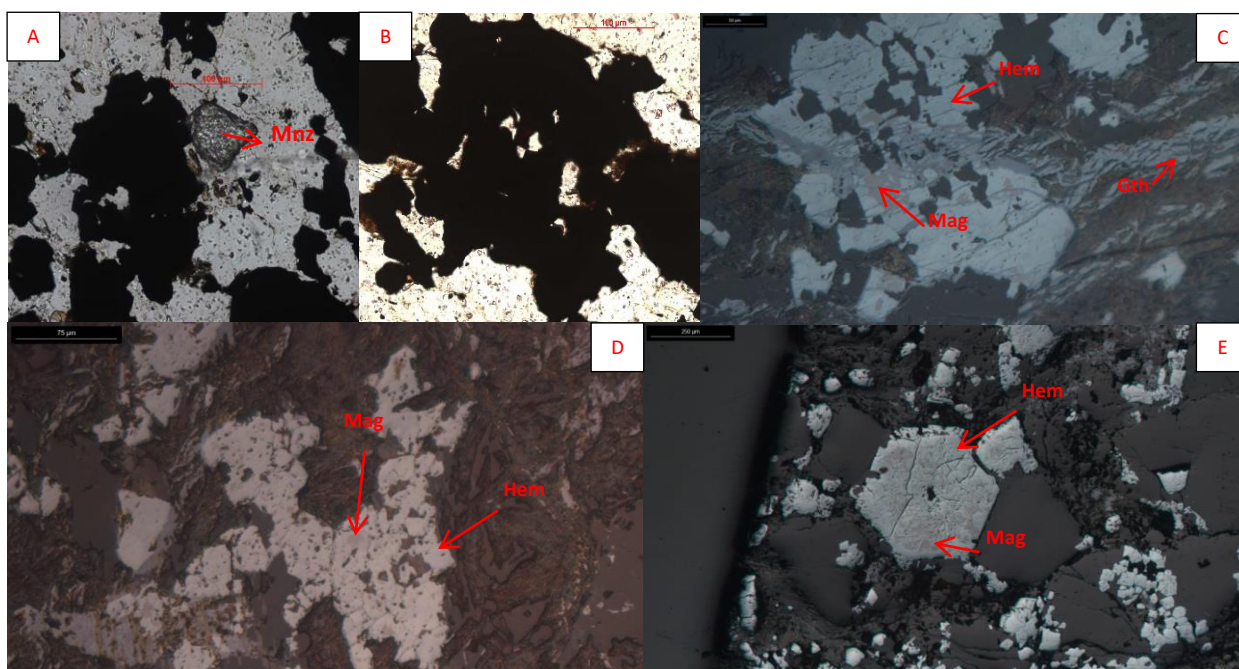


Fig. 2 - Microfotografias em luz transmitida (A e B) e em luz refletida (C, D e E): A: Fosfato, possivelmente Monazite, N//; B: Aglomerado de Óxidos de Fe, N//; C: Aspetto dos diferentes minerais de ferro, Hematite, Magnetite, e Goetite; D: Hematite e Magnetite; E: Hematite com a forma do cristal de Magnetite que lhe deu origem pelo processo de martitização (Centro, hexagonal).

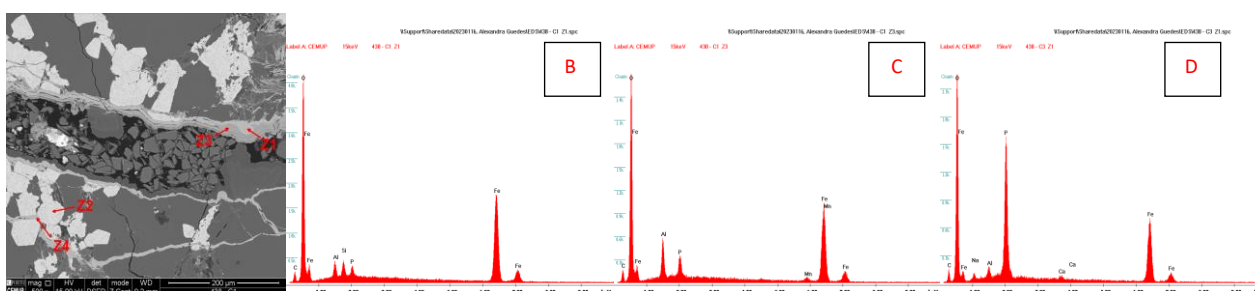


Fig. 3 – A: Imagem MEV-EDE com o detalhe das zonas analisadas; B: Espectro de dispersão de energia do ponto Z1 da imagem, correspondente a um Óxido de Fe com Al, P e Si; C: Espectro de dispersão de energia do ponto Z3 da imagem, correspondente a um Óxido de Fe com Al, P e Mn; D: Espectro de dispersão de energia de um Fosfato de Fe com Al e Na.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado pelo projeto “Development of Sustainable Materials for Water Splitting: an integrated study from cradle to grave” - NORTE-01-0145-FEDER-000076, que possibilitou o estudo através de MEV-EDE, e parcialmente financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projetos com Ref^{as} UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020. C. Cruz é investigadora contratada pelo projeto UIDP/04683/2020 (FCT- Portugal).

Referências

- Julivert, M., Fontboté, J. M., Ribeiro, A., & Conde, L. (1974). Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares. Escala 1: 1,000,000. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Pereira, E., Rodrigues, J., Ribeiro, A., Dias, R., Rebelo, J. A., & Silva, A. F. d. (2009). Folha 11-D (Carviçais) da Cartografia Geológica de Portugal. 1:50,000. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Urbano, E. (2017). Génesis do Jazigo de Ferro de Moncorvo e Avaliação do Uso de Equipamentos Portáteis de FRX e DRX para a Exploração Mineral deste Tipo de Jazigos. [Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro].
- Urbano, E., Meireles, C., Gomes, M., & Figueiredo, N. (2015). Estudo petrográfico comparativo entre os minérios de ferro do flanco norte e do flanco sul do Sinclinal de Moncorvo VIII Seminário de Recursos Geológicos Ambientais e Ordenamento de Território, UTAD.

Evolução composicional dos fluidos associados às mineralizações de Li-Sn da mina Pedra Alta (Argemela)

Compositional evolution of the fluids associated with Li-Sn mineralization from Pedra Alta mine (Argemela)

A. Yakovenko (1), A. Guedes (1), F. Noronha (1) e A. Mateus (2)

- (1) Instituto de Ciências da Terra, Pólo Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal, yakovenko.alina.v@gmail.com
- (2) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Instituto Dom Luiz (IDL), Portugal

Summary: Fluid inclusions (FIs) were studied in amblygonite, cassiterite, and quartz from mineralized veins of the Li-Sn mineralization from Pedra Alta (Argemela). The bulk and volatile phase compositions show that water is the main component of FIs trapped in different mineral phases. The CO₂, CH₄, N₂ and salt components are always minor. Nonetheless, fluids with a CO₂-dominant volatile phase were trapped in amblygonite and quartz, whereas fluids trapped in cassiterite show variations from CO₂-dominant to CH₄-dominant volatile phase. FIs global homogenization temperatures range from: 280 °C to 315 °C for fluids in amblygonite; 310 °C to 360 °C for fluids in quartz; and 240 °C to 330 °C for fluids in cassiterite, suggesting trapping conditions at pressures higher than 50 MPa. The results indicate a temperature decrease from amblygonite to cassiterite crystallization, along with a change in fluid composition conceivably due to changes in redox conditions and increase of rock/fluid interaction.

Key words: Fluid inclusions, Stanniferous mineralization, Microthermometry, Raman Microspectrometry, P-T-X conditions

Palavras-chave: Inclusões fluidas, Mineralização estanífera, Microtermometria, Microespetrometria Raman, Condições P-T-X

Visando a caracterização das fases minerais que constituem os filões de quartzo mineralizados em Li-Sn da Pedra Alta (Concessão nº 1, Argemela) e dos fluidos envolvidos nos processos mineralizantes foram realizados estudos de petrografia, mineralogia e análises MEV/EDS, em conjunto com o estudo de inclusões fluidas por microtermometria e microespectrometria Raman.

Pedra Alta Nº1 foi uma concessão mineira para a exploração de estanho na região de Argemela, situada a ca. 9 km a oeste do plutão do Fundão e circunscrita a uma área dominada por metassedimentos do Grupo das Beiras. Esta mina localiza-se na Zona Centro Ibérica e integra o importante alinhamento de mineralizações Góis-Panasqueira-Argemela-Segura. A mineralização estanífera (cassiterite e/ou estanita) ocorre em filões de quartzo, maioritariamente subverticais e de direção N80°E. O desenvolvimento dos filões mineralizados foi atribuído à instalação de uma cúpula granítica não aflorante (Ribeiro et al., 1974).

As amostras estudadas são de amblygonite maciça, de cor branca a azul/esverdeada, que se apresenta em cristais bem desenvolvidos.

Cristais de quartzo anédricos a subédricos com tamanho variável e extinção ondulante, alguns exibindo em textura em pente, foram encontrados em conjunto com agregados de quartzo com textura em mosaico.

Nos filões de Pedra Alta, a cassiterite é tardia relativamente ao quartzo e apresenta-se sob a forma de grãos anédricos a euédricos, geralmente zonados. O conteúdo em nióbio da cassiterite é baixo (até 2,07% em peso) e o tântalo não foi detetado. Foram ainda reconhecidas fases de columbo-tantalite envolvidas por grãos de cassiterite, as quais revelam algum zonamento composicional, refletido na variação da razão Ta/Nb. Foram ainda encontradas algumas fases minerais menores da série Zr-Hf. Bismuto nativo associado a bismutinite e sulfossais de prata, ocorre preenchendo fraturas na cassiterite. A formação dessas fases minerais foi posterior à cassiterite bem como à estanita, sulfureto que também ocorre nos filões. A calcopirite também foi

observada e é posterior à estanita. Outras fases minerais presentes nos filões de quartzo da Pedra Alta encontram-se descritas em Inverno et al. (2019).

O exame petrográfico revelou a presença de inclusões fluidas primárias em ambligonite, quartzo e cassiterite dos filões de quartzo de Pedra Alta (Fig. 1). O estudo destas inclusões (microtermometria e microespectrometria Raman) documenta o aprisionamento de fluidos de baixa salinidade cuja composição é descrita pelo sistema $H_2O-CO_2-CH_4-N_2-NaCl$. No entanto, fluidos com uma fase volátil predominantemente constituída por CO_2 foram aprisionados na ambligonite e quartzo; e os fluidos aprisionados na cassiterite mostram uma variação composicional que se estende desde fluidos com fase volátil dominada por CO_2 até fluidos com fase volátil dominada por CH_4 .

As análises termométricas revelaram temperaturas de homogeneização global (Th) entre: (i) 280 °C e 315 °C para os fluidos aprisionados na ambligonite; (ii) 310 °C e 360 °C para os fluidos capturados pelo quartzo; e (iii) 240 °C e 330 °C para os fluidos em cassiterite, indicando pressões de aprisionamento superiores a 50 MPa. Estas análises comprovam uma evolução marcada por decréscimo de temperatura desde a cristalização da ambligonite até à formação da cassiterite, acompanhada por mudança de composição dos fluidos de $H_2O-CO_2-(CH_4-N_2)-NaCl$ para $H_2O-CH_4-N_2-(CO_2)-NaCl$, sugerindo variação das condições redox e aumento da interação rocha/fluido ao longo do tempo.

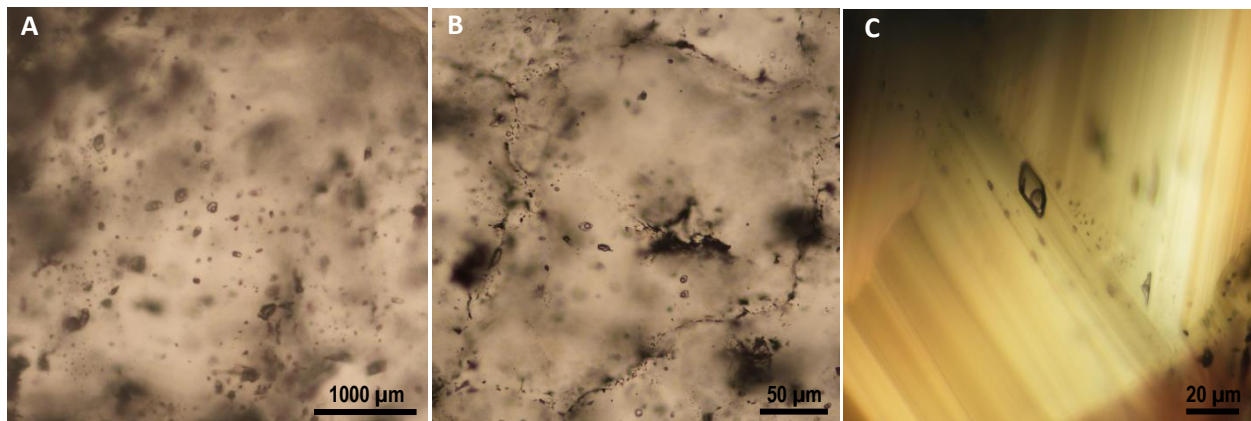


Fig. 1. Aspeto das inclusões fluidas na ambligonite (A), quartzo (B) e cassiterite (C) dos veios de quartzo estudados.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado pela FCT no âmbito do projeto ERA-MIN/0003/2019: “Predictive models for strategic metal rich, granite-related ore systems based on mineral and geochemical fingerprints and footprints”. O trabalho inclui-se nas atividades do Grupo de Investigação em Geomateriais e Recursos Geológicos do Instituto de Ciências da Terra no âmbito dos projectos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Inverno, C., Ferraz, P., Moreira, M., Guimarães, F & Filipe, A. (2019). The granite-related, high-tonnage Sn-Li deposit of Argemela, central Portugal. In J.R. Romaní (Ed.), *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 41, 201-256.
- Ribeiro, A., Conde, L. & Carvalho, D. (1974). *Report from visit to Minas da Argemela*. Unpublished report, Serviços Geológicos de Portugal.

SESSÃO CIENTÍFICA 12 (SC_12)
(Hidrogeologia e Recursos Hídricos)

Conveners: António Chambel; Ana Castilho Lopes; Fernando Pacheco

Assessment of groundwater vulnerability of fractured aquifers from arid regions

Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas em aquíferos fraturados de regiões áridas

B. Abdelkarim (1), I. M. Antunes (2), N. Abaab (3), A. B.Tounekti (4) and B. Agoubi (5)

- (1) Institut Supérieur des Sciences et Techniques des Eaux de Gabès, Université de Gabès; LR: Applied Hydro-Sciences Laboratory Research Campus Universitaire, 6072 Zrig, Gabes, Tunisia; Institute of Earth Sciences, Pole of University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal; abdelbilel92@gmail.com
- (2) Institute of Earth Sciences, Pole of University of Minho, Department of Earth Sciences, University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal
- (3) Le Mans Université, Géosciences Le Mans, LPG UMR 6112, 72085 Le Mans, France
- (4) University of Tunis El Manar, Faculty of Sciences of Tunis, 2092, Tunis, Tunisia
- (5) Institut Supérieur des Sciences et Techniques des Eaux de Gabès, Université de Gabès; LR: Applied Hydro-Sciences Laboratory Research Campus Universitaire, 6072 Zrig, Gabes, Tunisia

Sumário: Os aquíferos constituem a principal fonte de recursos hídricos nas regiões semiáridas. Nestas regiões é fundamental a definição de estratégias adequadas na avaliação da vulnerabilidade dos sistemas aquíferos e possível exposição a contaminação, em particular para aquíferos fraturados face à sua elevada vulnerabilidade natural. O sistema aquífero na região de Gabes (sul da Tunísia) é um meio fraturado exposto atividades agrícolas intensivas com uso excessivo de fertilizantes. Com este trabalho é apresentado um novo índice de vulnerabilidade tendo por base a introdução da variável relativa à fracturação do meio no método DRASTIC. Os resultados obtidos mostram a ocorrência de zonas de vulnerabilidade muito baixa (31%), baixa (21.5%), moderada (22.9%), elevada (15%) a muito elevada (9.6%) para a região de Gabes. A distribuição espacial deste novo índice de vulnerabilidade é uma importante ferramenta para a gestão adequada da água subterrânea e na localização de novos de poços e furos no local.

Palavras-chave: vulnerabilidade, DRASTIC modificado, gestão de água subterrânea, região de Gabes, Tunísia

Key words: vulnerability, DRASTIC modified, groundwater management, Gabes region, Tunisia

The vulnerability of fractured aquifer systems, particularly in semi-arid regions, are a main issue to obtain water for human consumption and/or agricultural activities (e.g. Abaab et al., 2021; Msaddag et al., 2022). Groundwater resources are a cost-effective source of drinking water. Groundwater vulnerability maps are used to attribute relative values of aquifer susceptibility to human activities contamination. Aquifer vulnerability can also be measured as a contaminant-specific vulnerability (Abdelkarim et al., 2022a; Missaoui et al., 2022). Common contamination index and vulnerability methodologies considers hydrogeological factors with a respective assigned weight to each factor. The present research study considers the Gabes-Kebili region, in southeastern Tunisia (Fig. 1).

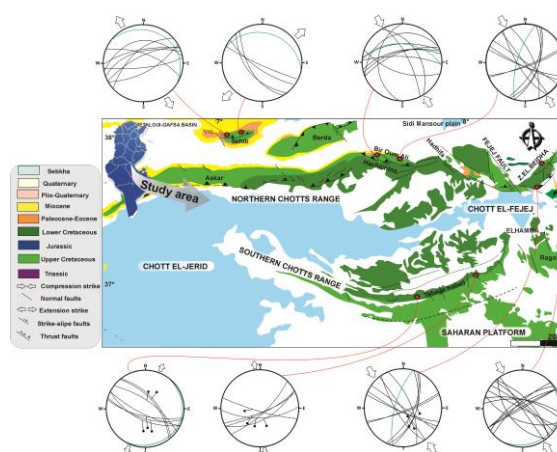


Fig. 1. Geographical location and geology of the study area.

The area has a dominant Mediterranean climate, with an annual average precipitation

about 180 mm. year⁻¹, with a dry and hot summer, and a rainy winter (Abdelkarim et al., 2022a). The watershed is inserted in the central Atlas Mountain ranges of Tunisia. There are multiple geological formations, ranging from the Trias to the Quaternary period (Fig. 1). Generally, the area is dominated by carbonate formations (limestone and dolomite), belonging to the Cretaceous period (Abaab et al., 2021; Abdelkarim et al., 2022b). The influence of rock-fractures, such as joints and faults, on groundwater resources quality could be adjusted in the conventional DRASTIC vulnerability model. The direct application of the DRASTIC model on fractured carbonate aquifers from the chott range region will not include the relevant contribution of hydrogeological characteristics. So, a revised and adjusted framework has now been established to represent the impact of fracture media on groundwater resources - DRASTIC-Fr (Table 1). The Sentinel-2A imagery and SRTM digital elevation model were applied to perform lineament extraction. The spatial

distribution on the study area comprises five vulnerability classes (Fig. 2): Very Low (VL: 31%), Low (L: 21.5%), Moderate (M: 22.9%), High (H: 15%) and Very High (VH: 9.6%). The most affected area is located near the chott zone, where the structural lineament density presents a very high value.

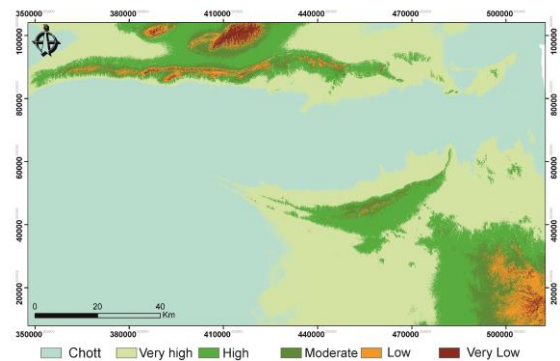


Fig. 2. Vulnerability map from of the study area.

Table 1. DRASTIC-FR parameters

Abbreviation	Hydrogeologic parameter	Weight
D	Depth to water table	5
R	net Recharge	4
A	Aquifer media	3
S	Soil media	2
T	Topography	1
I	Impact of the vadose zone	5
C	hydraulic Conductivity	3
Fr	Fractured media	3

Acknowledgments: The authors are grateful to the Applied Hydrosociences Laboratory for laboratory analysis. This research was developed under the FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. program, through the project's reference UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020.

References

- Abaab, N., Zanella, A., Akrouf, D., Mourgues, R., & Montacer, M. (2021). Timing and distribution of bedding-parallel veins, in evaporitic rocks, Bouhedma Formation, Northern Chotts, Tunisia. *Journal of Structural Geology*, 153, 104461.
- Abdelkarim, B., Telahigue, F., & Agoubi, B. (2022a). Assessing and delineation of groundwater recharge areas in coastal arid area southern Tunisia. *Groundw Sustain Dev* 18, 100760. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100760>
- Abdelkarim, B., Telahigue, F., Abaab, N., Boudabra, B., & Agoubi, B. (2022b). AHP and GIS for assessment of groundwater suitability for irrigation purpose in coastal-arid zone: Gabes region, southeastern Tunisia. *Environ Sci Pollut Res*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23193-4>
- Missaoui, R., Abdelkarim, B., Ncibi, K., Hamed, Y., Choura, A., & Essalami, L. (2022). Assessment of groundwater vulnerability to nitrate contamination using an improved model in the Regueb Basin, Central Tunisia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(8), 320.
- Msaddek, M. H., Moumni, Y., Ayari, A., El May, M., & Chenini, I. (2022). Artificial intelligence modelling framework for mapping groundwater vulnerability of fractured aquifer. *Geocarto International*, 1-31.

Proposta de delimitação dos perímetros de proteção na área termal de Caldelas (Amares, Norte de Portugal)

Delimitation of protection restrictions on the thermal area of Caldelas (Amares, North of Portugal)

I.M. Antunes (1) e M. Mendes (2)

(1) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga; imantunes@dct.uminho.pt

(2) Câmara Municipal de Amares, Largo do Município 4720-058 Amares

Summary: *Thermal waters exploitation have been registered a potential increase, as a source of geothermal energy, as well as for medicinal and recreational purposes. The vulnerability assessment of thermal aquifer systems and their prevention to the occurrence of contamination sources is crucial for social and economic development of the surrounding areas. The delimitation of groundwater protection areas involves the identification of natural and anthropic vulnerabilities on the aquifer system, promoting the restriction of some activities, to improve water quality. The thermal area of Caldelas (Amares) occurs in a granitic aquifer system, with a fissure permeability conditioned by intense fracturation, within a regional geotectonic context. The main land occupation is agricultural activity. The delimitation of areas with restricted or prohibited activities is a main issue on the protection and preservation of the Caldelas's aquifer system, considering the contribution of the local population, with social and economic regional consequences.*

Key words: *groundwater, fissured aquifers, groundwater management, territorial planning*

Palavras-chave: água subterrânea, aquíferos fissurados, gestão de água subterrânea, ordenamento do território

Em Portugal Continental, particularmente na região Norte, existem várias nascentes de águas termais com utilização desde épocas romanas. A preservação dos sistemas aquíferos termais é fundamental nos processos de tomada de decisão. A delimitação de perímetros de proteção permitem garantir a qualidade da água (Diário da República, 1999).

A área termal de Caldelas está localizada na região do Alto Minho, freguesia de Caldelas (Concelho de Amares, distrito de Braga). A vila de Caldelas tem uma área de cerca 4,47 km² (Câmara Municipal de Amares, 2011) e 872 habitantes (Instituto Nacional de Estatística, 2011). Está localizada na parte portuguesa da Zona Centro-Ibérica, um vasto afloramento de rochas Paleozoicas, na transição entre o Domínio do Complexo Xisto-Grauváquico e a Zona da Galiza média-Trás-os-Montes. É atravessada pela Falha de Caldelas, ENE-WSW, com a linha de água principal – Ribeiro do Alvito (DGEG, 2019). As águas termais ocorrem na sua margem esquerda, e alinhadas no bordo SE, segundo a Falha de Caldelas.

O sistema aquífero de Caldelas ocorre em rochas graníticas, com uma permeabilidade fissural condicionada pelo grau de fracturação. Estão presentes dois sistemas aquíferos sobrepostos com

características estruturais e hidráulicas diferenciadas. O sistema aquífero superficial, de permeabilidade reduzida, é composto por granito alterado e depósitos colúvio-aluvionares, enquanto que o profundo, descontínuo, tem um elevado grau de fracturação (DGEG, 2019).

As águas minerais naturais de Caldelas constituem um tipo único no património hidrogeológico de Portugal, com exploração para fins de termalismo. São caracterizadas por uma reduzida mineralização total (TDS 130 mg/L; Condutividade elétrica 150 μS/cm), e classificadas como hipossalinas de pH alcalino (pH 8.0). Predomina uma composição bicarbonatada calco-sódica (tipo Ca/Na – HCO₃⁻), associada à hidrólise das plagioclases, como o principal processo de interação água-rocha, e fluoretadas (F⁻ 2,1 mg/L), resultante de fluidos hidrominerais em profundidade. A reduzida mineralização e temperatura (T = 25 °C) sugere que corresponde a água associada a um sistema aquífero pouco profundo e reduzido tempo de permanência no contacto com a rocha encaixante (Antunes, 2022).

O sistema hidrotermal de Caldelas apresenta uma circulação relativamente profunda, com uma temperatura no reservatório de cerca de 70 °C, em

que as zonas preferenciais de recarga deverão estar localizadas a baixas altitudes, cerca de 170 m a.s.l. (Carreira et al., 2021).

Considerando as características geológico-estruturais, hidrogeológicas e hidrográficas, em particular na definição das áreas de recarga do sistema aquífero, combinadas com o uso e ocupação do solo, como fatores de vulnerabilidade do sistema aquífero, é proposta uma delimitação para os perímetros de proteção na área termal de Caldelas (Fig. 1).

A definição das áreas de restrição consideram a intensidade de ocorrência de falhas e fracturas, a partir das quais ocorre a circulação de água nas rochas graníticas, conjugada com a topografia, truncada com a delimitação da bacia hidrográfica e condicionada pela direcção dominante de escorrência da água na região.

A zona imediata é definida como o lugar geométrico de círculos com cerca de 50 m de raio, centrado nas quatro captações, definindo um polígono irregular à superfície (A-D; Fig. 1), com uma área de 2,1 ha. A zona de protecção intermédia é estendida para além da área de concessão, de modo a proteger a zona atravessada pela falha de Caldelas e pelo sistema de fracturas associado ao circuito do sistema hidromineral e a superfície de recarga superficial; permitindo proteger a água em profundidade. Esta zona com uma área de 419 ha, é definida pelo polígono irregular (A'-F'; Fig. 1).

A complexidade e multiplicidade do circuito hidrogeológico deste sistema hidromineral, controlado principalmente pelas falhas e fraturas associadas às extensas estruturas tectónicas regionais

que ocorrem na região norte de Portugal, justificam a inclusão dos limites da bacia hidrográfica do ribeiro do Alvito e parte do rio Homem, que ocorre nas proximidades, na delimitação da zona alargada, com uma área 1163 ha (polígono A''-F''; Fig. 1).

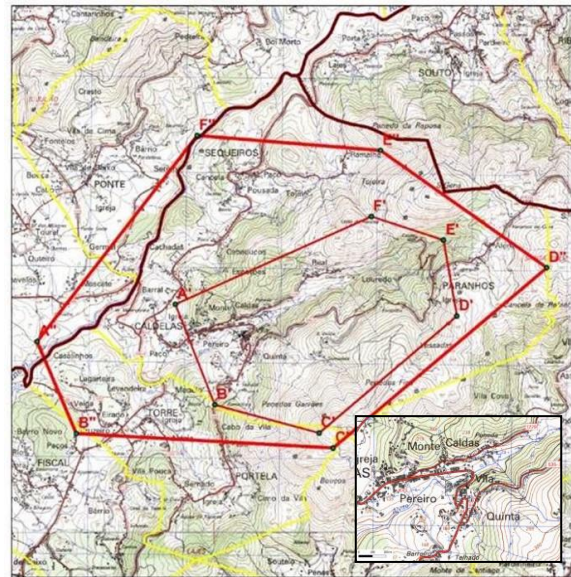


Fig. 1. Proposta de delimitação da zona imediata (cor negra), intermédia (cor vermelha) e alargada (cor de laranja) do perímetro de protecção para a área termal de Caldelas (Antunes, 2022).

A definição de perímetros de protecção para a área termal de Caldelas constitui uma importante ferramenta na tomada de decisão e um contributo para o ordenamento do território com implicações sociais e económicas para a população local e regional.

Agradecimentos: À Câmara Municipal de Amares, concessionária das Termas de Caldelas. Este trabalho é no âmbito dos projetos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020 da Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Referências

- Antunes, I.M.H.R. (2022). Estudo hidrogeológico das Termas de Caldelas – proposta de delimitação de perímetros de protecção. Câmara Municipal de Amares (Não publicado).
- Câmara Municipal de Amares. (2011). Relatório da Caracterização e Revisão do Plano Diretor Municipal de Amares, Documento não publicado.
- Carreira, P.M., Marques, J.M., Guerra, A., Nunes, D., Marques, J.E., Teixeira, J., & Chaminé, H.I. (2021). Caldelas and Gerês hydrothermal systems (NW Portugal): a comparative study based on geochemical and isotopic signatures. *Environmental Earth Sciences*, 80, 100. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09389-w>
- Decreto-Lei 382/99. (1999). Estabelece as normas e os critérios para a delimitação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público. *Diário da República* n.º 222, I Série-A, 6623-6627.
- DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia. (2019). Hidrogenoma – Uma Nova Visão Estratégica para as Águas Minerais Naturais.
- Instituto Nacional de Estatística. (2011). Resultados do Censos 2011. <http://mapas.ine.pt/map.phtml>

Integrated analysis of geological, structural and gravimetric data to improve the conceptual model of the Vieira de Leiria – Marinha Grande aquifer system for groundwater modelling

Análise integrada de dados geológicos, estruturais e gravimétricos para melhorar o modelo conceptual do sistema aquífero Vieira de Leiria-Marinha Grande para modelação hidrogeológica

N. Barreiras (1), P. Dias (2), F. C. Lopes (2,3), F. Figueiredo (2,4), J. Nascimento (1) e M. T. Condeso de Melo (1,5)

(1) CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, nuno.barreiras@tecnico.ulisboa.pt

(2) DCT-Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

(3) CITEUC-Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra

(4) CGEO-Centro de Geociências da Universidade de Coimbra

(5) Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

Sumário: A combinação de dados geológicos, geofísicos e hidrogeológicos permitiu melhorar a definição tridimensional das principais unidades hidrogeológicas do sistema multiaquífero Vieira de Leiria – Marinha Grande, contribuindo para a melhoria do modelo conceptual do sistema aquífero e do consequente modelo numérico de fluxo subterrâneo. A combinação dos diferentes métodos proporcionou: 1) cruzamento informações geológicas e hidrogeológicas; 2) simplificação das unidades geológicas em unidades hidrogeológicas; 3) definição dos limites das unidades hidrogeológicas; 4) localização das principais formações diapíricas; 5) atualização do modelo conceptual do aquífero e das condições fronteira; 5) melhoria do modelo numérico.

Palavras-chave: Modelo conceptual, Gravimetria, Estrutura salífera, Aquífero Vieira de Leiria-Marinha Grande

Keywords: Conceptual model, Gravimetry, Salt structure, Vieira de Leiria-Marinha Grande aquifer

The calibration of groundwater models is often hindered by the limited availability of hydrogeological data. Subsurface features related to geological heterogeneity or complex structural geology in a model can affect local and regional groundwater flow, recharge and discharge areas, hydrogeological parameters, and infiltration processes within the aquifer boundaries. Important stratigraphic information retrieved from geophysical surveys helps the construction of conceptual groundwater models, including boundary conditions and the base aquifer. Non-intrusive geophysical methods are increasingly used to provide higher spatiotemporal resolution datasets for the identification of hydrological processes and estimation of hydraulic properties (González-Quirós & Comte, 2021; Pleasants et al., 2022). The definition of a conceptual model and subsequent groundwater model for the Vieira de Leiria - Marinha Grande aquifer (VL-MG), located in the Lusitanian Basin, required a detailed study of the structural units of the region, affecting the geology and hydrogeology of the aquifer. This region comprehends complex evaporitic regimes (Zbyszewski, 1959), with intense diapiric activity in the central sector of the basin associated with the main tectonic phases of the basin. The data available to make a detailed spatial

discretization, relying only on sparse and incomplete well logging, mostly short and not representative in vertical and horizontal scales, is a major limitation for properly defining the hydrogeological units. Thus, the complexity of the geological unit's heterogeneity, associated with the sedimentary basin processes and regional tectonics combined, adds difficulties, mainly in-depth, with almost no data accessible. In the case of VL-MG aquifer, the obstacles found to determine the geomorphology and lower boundaries of the hydrogeological units could be aggregated in the following: 1) the existence of blind zones (no data at all), 2) incomplete data in one or two axis (horizontal and vertical), leading to unknowledgeable information in certain areas, and 3) contradictory information, due to their several sources. Therefore, geophysics plays an essential role in the acquisition of information both at the shallow and in-depth levels: firstly, to complement existing data and to confirm eventual geological features (e.g., diapiric structures, faults) that influence, for example, hydraulic properties, recharge and groundwater flow, and secondly, to gather information on the water levels and identify zones of higher probability of groundwater occurrence. Ground-penetrating radar (GPR), Electrical Resistivity (ER), and Seismic Refraction (SR) are the most common

geophysical methods in geomorphological and hydrological research (Gilbert et al. 1999; Binley et al. 2015). Gravimetry, based on seismic reflection profiles, is a powerful tool for constructing high-precision topographic surveys based on determining density anomalies in the subsoil (fit for mapping diapiric structures). The structural and gravimetric modelling of the Monte Real salt structure (Leiria) (Dias et al., 2020) suggests that the structure geometry resembles a salt overhang still attached to the mother salt layer through a “salt neck”. Through the gravimetric interpretation was also possible to define points of contact between the geologic formations (Miocene-recent, Cretaceous-Oligocene, Upper Jurassic, Lower-Medium Jurassic, Hetangian), which were the basis for mapping these contact surfaces in depth, through geostatistical tools in a GIS environment. Some salt structures were identified, and within the area of the VL-MG aquifer, the São Pedro de Moel structure holds particular importance both in 1) the spatial discretization of the groundwater model and 2) water quality assessment. This way, the bottom layer elevation of the groundwater model was established, as well as the eastern boundary in contact with the Monte Real anticline structure and the suggested geomorphology

of the diapiric structure in the São Pedro de Moel. Regarding water quality, this knowledge gave a different perspective towards the quality assessment within the aquifer boundary. The presence of salt structures and the proximity to the coast, on the one hand, and the water demand pressures in the context of public water supply, on the other hand, oblige raising awareness on the susceptibility of the aquifer to quality problems in some specific zones. In conclusion, this approach explores the contributions that geophysical methods can make to hydrogeology, and specifically to the improvement of the groundwater conceptual model of VL-MG aquifer, and the following mathematical model, namely:

Cross information and data to improve the knowledge of the VL-MG aquifer;

Update the groundwater conceptual model;

Establish the bottom elevations of the groundwater model and contact surfaces between hydrogeologic units;

Obtain more realistic results from numerical modelling.

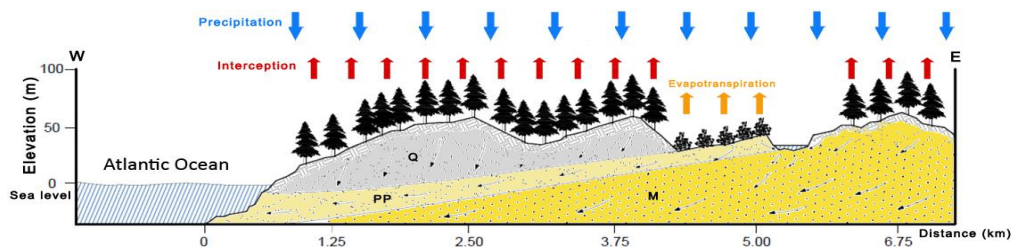


Fig. 1. Conceptual model of the Vieira de Leiria – Marinha Grande aquifer system.

Acknowledgements: This work is part of the research activity carried out at Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability (CERIS) and has been funded by Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) in the framework of project UIDB/04625/2020. This work was partially funded by the Câmara Municipal da Marinha Grande and the authors would like to thank the collaboration of Eng.^a Edite Moniz.

References

- Binley, A., Hubbard, S.S., Huisman, J.A.; Revil, A., Robinson, D.A., Singha, K., & Slater, L.D. (2015). The emergence of hydrogeophysics for improved understanding of subsurface processes over multiple scales. *Water Resources Research*, 51, 3837–3866. <https://doi.org/10.1002/2015WR017016>
- Dias, P. A. C. (2017). *Modelação Estrutural e Gravimétrica da Estrutura Salífera de Monte Real (Leiria, Portugal)*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra.
- González-Quirós, A., & Comte, J. (2021). Hydrogeophysical model calibration and uncertainty analysis via full integration of PEST/PEST++ and COMSOL. *Environmental Modelling & Software*, 145, 105183. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105183>
- Pleasant, M.S., Neves, F.d.A., Parsekian, A.D., Befus, K.M., & Kelleners, T.J. (2022). Hydrogeophysical inversion of time-lapse ERT data to determine hillslope subsurface hydraulic properties. *Water Resources Research*, 58, e2021WR031073. <https://doi.org/10.1029/2021WR031073>
- Zbyszewski, G. (1959). *Étude structurale de la vallée typhonique de Caldas da Rainha (Portugal)*. Mem. Serv. Geol. Portugal.

Água Mineral Natural de Caldas da Rainha: uma abordagem multidisciplinar

Caldas da Rainha Mineral Water: a multidisciplinary approach

R. Carvalho (1), M.R. Carvalho (1,2) e C. Almeida(2)

- (1) Instituto D. Luiz (IDL), Universidade de Lisboa, ritacmc@gmail.com
(2) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa (FCUL)

Summary: *The study on the natural mineral water of Caldas da Rainha, Portugal, aims to answer questions about the origin of sulfur in water and the chemical and biological processes that occur. The multidisciplinary approach included geochemical modeling of water-rock interaction and microbiological characterization of water through ribosomal RNA sequencing. Geochemical modeling pointed to the dissolution of gypsum and limestone-rich geological formations as the source of sulfur in water. Microbiological characterization identified species involved in sulfur metabolism, including microorganisms that oxidize and reduce sulfur. Microbial stratification in the aquifer may be affected by the increase in temperature with depth, which can lead to the occurrence of different bacterial communities in distinct layers of the aquifer.*

Key words: *Mineral Water, Caldas da Rainha, Microbiome sequencing, Confined Aquifer*

Palavras-chave: Água Mineral, Caldas da Rainha, Sequenciação do Microbioma, Aquífero Confinado

Introdução

A água mineral natural de Caldas da Rainha é hipersalina, sulfúrea e sulfatada sódica (Marques *et al.*, 2013; TARH, 2018). À escala local, as nascentes termais das Caldas da Rainha situam-se no contacto por falha de orientação NNE-SSW entre as margas de Dagorda e as formações jurássicas do sinclinal de A-de-Francos (Marques *et al.*, 2013). A Serra dos Candeeiros é apontada como a zona de recarga, em afloramentos do Malm, sendo o escoamento subterrâneo direcionado para oeste ao longo das Camadas de Alcoaça. Durante o percurso da água está sujeita a temperaturas e pressão elevada e a um ambiente redutor, que contribui para a ocorrência de espécies reduzidas de enxofre que, por sua vez, são oxidadas ao longo do percurso ascensional (Marques *et al.*, 2013). O tempo de percurso subterrâneo da água pode ser de algumas centenas de anos ou atingir um milhar de anos (TARH, 2018).

A presença de espécies reduzidas e oxidadas de enxofre na água tem levantado algumas questões sobre a origem deste elemento e sobre os processos químicos e/ou biológicos de oxidação e redução. Este trabalho teve como principal objetivo dar resposta a estas questões, recorrendo a uma abordagem multidisciplinar que contemplou, a modelação geoquímica de interação água-rocha (com o programa PHREEQC) e a caracterização microbiológica dos organismos presentes na água, através da sequenciação da região 16S do rRNA (RNA ribossómico), após filtração das amostras recolhidas.

Modelação geoquímica água-rocha

A modelação dos processos geoquímicos de interação água-rocha foi realizada utilizando como composição inicial a água pouco mineralizada do polo de captações da Chiqueda, que representaria uma água no percurso subterrâneo inicial. Para se atingir a composição final de uma água quimicamente idêntica à água mineral das Caldas da Rainha, foi simulado o contacto (dissolução) com formações geológicas diapíricas, ricas em gesso, e com calcários das camadas da Abadia / Jurássico superior, ricos em matéria orgânica.

Conhecendo a composição das formações geológicas por onde percola a água da Chiqueda / Serra dos Candeeiros, assumiu-se que o sulfureto provém do enxofre inicial, resultante da dissolução do gesso/anidrite existente no diapiro, que posteriormente é dissolvido. Neste caso escolheu-se usar a Anidrite em substituição do gesso por uma questão prática de não ser necessário a introdução de água no modelo hidrogeoquímico.

Conhece-se a ocorrência de matéria orgânica nas formações do Jurássico superior, sob a forma de betume, petróleo, lignitos, etc. No modelo hidrogeoquímico colocou-se a solução a reagir com um composto orgânico generalista, sob a forma de CH₂. Desta forma é provável que ocorra a redução do enxofre a sulfuretos pela matéria orgânica. Esta redução é provavelmente mediada por organismos

redutores de enxofre. O modelo corre com imposição da temperatura da solução final (30,1 °C) e pressão de CO₂.

Os resultados decorrentes deste modelo estão expressos na Tabela I, onde se verifica que são atingidos valores muito semelhantes aos da composição química da água da captação AC2.

Caracterização Microbiológica

Em termos microbiológicos, alguns dos microrganismos identificados nesta água mineral tinham já sido referenciados (DGEG, 2020).

Neste trabalho, a sequenciação dos microrganismos foi efetuada por *Nanopore sequencing*. Foram encontrados organismos envolvidos no metabolismo do enxofre, especialmente na sua oxidação, nomeadamente bactérias dos géneros *Sulfuricurvum*, *Sulfurimonas* e *Sulfurovum* (Fig 1). No entanto foram, também, sequenciadas *Archaea* capazes de reduzir o sulfato ou mesmo o enxofre elementar, embora em pequena quantidade. Nas amostras recolhidas da captação AC2 foram identificadas quatro espécies de *Archaea* com metabolismo redutor de sulfato: *Ignococcus islandicus*, *Desulfurococcus mucosus*, *Hyperthermus butylicus* e *Desulfurococcus amylolyticus*, por ordem de abundância. Estas espécies foram também encontradas nas restantes amostras, embora com menor abundância.

Deste modo, pensa-se que o aumento da temperatura da água com a profundidade poderá refletir-se nas comunidades bacterianas existentes no

aquífero e originar uma estratificação microbiana no aquífero. É possível que uma comunidade oxidante do enxofre ocorra em estratos superiores do aquífero, enquanto organismos do grupo *Archaea*, mais adaptados a ambientes extremos (não só de temperatura e pressão, mas também de salinidade) possam ocorrer em profundidade, onde a temperatura do reservatório pode atingir, segundo Marques *et al.* (2012), 60 °C.

O maior número de leituras corresponde à Nascente da Piscina da Rainha. Destaca-se uma abundância relativa significativa de taxa de desconhecidos, o que revela a importância da água subterrânea como reservatório de espécies microbianas ainda por estudar.

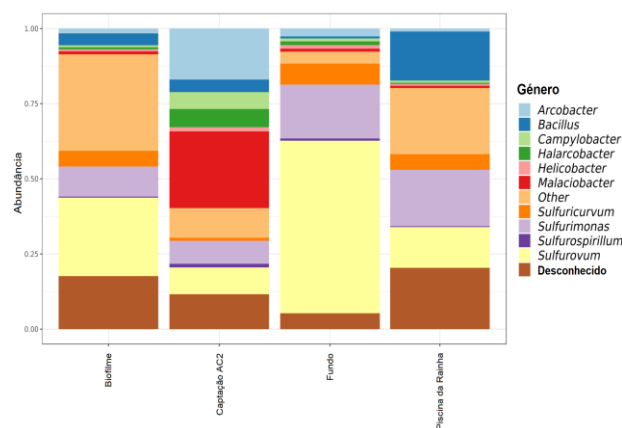


Fig. 1. Composição microbiológica, por gênero, das amostras de água de Caldas da Rainha.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, com a Bolsa SFRH/BD/139687/2018 atribuída ao 1º autor. Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) I.P/MCTES através do apoio (PIDDAC) – UIDB/50019/2020.

Referências

- DGEG. (2020). Hidrogenoma – Uma nova visão estratégica para as Águas Minerais Naturais.
- Graça, H.; Páscoa, J., & Andrade, L. (1999). Centro Hospitalar das Caldas da Rainha. Concessão HM-14 “Caldas da Rainha”. Estudo do Perímetro de Proteção. DataGeo.
- Marques, J. M.; Graça, H.; Eggenkamp, H. G. M.; Carreira, P. M.; Mayer, B., & Nunes, D. (2012). Contribuição de traçadores geoquímicos e isotópicos para a avaliação das águas termais das Caldas da Rainha. *Comunicações Geológicas*, 99(2), 43-51.
- Marques, J. M., Graça, H., Eggenkamp, H. G. M., Neves, O., Carreira, P. M., Matias, M. J., & Trancoso, V. N. (2013). Isotopic and hydrochemical data as indicators of recharge areas, flow paths and water-rock interaction in the Caldas da Rainha-Quinta das Janelas thermomineral carbonate rock aquifer (Central Portugal). *Journal of Hydrology*, 476, 302–313.
- TARH (2018). Plano de exploração da concessão hidromineral das Caldas da Rainha HM-14. Relatório técnico.

Condições hidrogeológicas e sociais do Município do Curoca, província do Cunene, Angola: contribuição para o alívio das condições de seca

Hydrogeologic and social conditions of Curoca county, province of Cunene, Angola: contribution to the relief of drought conditions

A. Chambel (1), C. Rodrigues (2), C. Alexandre (2), R. Guimarães (2) e I. Miguel (3)

(1) ICT – Instituto Ciências da Terra, Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal, achambel@uevora.pt

(2) MED – Instituto Mediterrâneo para a Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento, Universidade de Évora, Pólo da Mitra, Ap. 94, 7000-554 Évora, Portugal

(3) Universidade Agostinho Neto, Luanda, Angola

Summary: *The project “Omeva Omwenyo” (Water is Life) is being executed in the South of Angola since the beginning of 2022, in the Cunene province, a region affected by a long drought in the last years. The water is mainly necessary for cattle and human consumption, but one of the objectives of the project is to help the population to create small areas of agricultural use and have a better food resilience. The intention is to create conditions to build more resilient wells that can resist to dry periods in the territory and allow the population to become more independent of the precipitation regime. Hydrogeologically, the territory is mainly formed by hard rock aquifers of low permeability and low yields. The rocks are mainly igneous and metamorphic, with thin weathering layers and a limited net of fractures.*

Key words: *groundwater, aquifers, drought, wells*

Palavras-chave: águas subterrâneas, aquíferos, seca, captações

O projeto “Omeva Omwenyo” (que significa, no dialeto local “Água é vida”), Acesso à água e segurança alimentar e nutricional para maior resiliência da população do Curoca” decorre no sul de Angola, na província do Cunene, na margem direita do rio Cunene, imediatamente a norte da fronteira com a Namíbia. O principal objetivo é contribuir para o aumento da resiliência alimentar e nutricional da população do município do Curoca face aos efeitos das alterações climáticas, com especial incidência sobre as consequências da seca na região, através da implementação de soluções de adaptação baseadas em processos comunitários participativos, aumentando o acesso à água para alavancar o desenvolvimento sustentável das atividades de subsistência das comunidades-alvo.

O projeto iniciou-se no início de 2022 e ocorre na sequência de um período em que o sul de Angola sofre uma seca prolongada que levou inclusive a uma vaga de refugiados ambientais para um extremo do município, onde são apoiados pelas Nações Unidas. Tratando-se de uma população que vive do gado e que utiliza muito pouco a agricultura, a água é essencialmente necessária para o abeberamento dos animais e para consumo humano.

A primeira visita de campo decorreu em julho de 2022 e centrou-se na avaliação local das condições hidrogeológicas do Curoca e também das possibilidades de realizar novas captações de água

subterrânea ou de reabilitar outras pré-existentes, ainda para avaliar as condições para armazenamento de água em alguns locais, com vista a orientar as populações no sentido de poderem, no futuro, ter pequenas hortas familiares que lhes pudessem alterar um pouco a dieta alimentar e proporcionar um melhor equilíbrio nutricional.

Em relação aos recursos hídricos superficiais, a primeira observação é de eles são praticamente inexistentes fora da época pluviosa, Não existem recursos permanentes, com exceção do rio Cunene, no sul do território, onde todas as restantes linhas de águas desaguam. Foram identificados alguns locais com pequenos açudes, mas secos e completamente assoreados.

Esta apresentação foca-se então na questão da disponibilidade de água subterrânea, avaliando as possíveis soluções a implementar durante a próxima fase do projeto. A zona de trabalho situa-se quase exclusivamente sobre rochas ígneas e metamórficas, em cuja bordadura, na parte este, ocorrem as formações sedimentares da bacia do Cunene, de espessura relativamente reduzida nesta área (Fig. 1). As rochas que servem de base aos aquíferos fraturados são granitos, riolitos, tonalitos, gabros, noritos, anortositos, ortognaisses, anfibolitos, quartzitos, xistos e metagrauvaques, para além de outras rochas de comportamento hidrogeológico idêntico. O grau de alteração é diminuto e a

fraturação insipiente na maioria das rochas, o que indica que as captações não serão, em geral, muito produtivas em toda a área.

As captações tradicionais são poços escavados à mão (ver exemplo na Fig. 2), com profundidades até aos 3-4 m, mas que cada vez mais são aprofundados até 6-8 m. Porque se trata de aquíferos em meios fraturados, os poços são executados nos sedimentos dos leitos dos rios ou das suas margens, pois estes povos não têm ferramentas que lhes permitam escavar poços em rochas duras. Este facto leva a que praticamente todos os poços estejam sujeitos ao seu entulhamento durante os 2 ou 3 meses de chuva. Consegue perceber-se pelo tipo de sedimentos dos rios que estes apresentam regime torrencial, inundando as margens em vários eventos anuais nesse período.

Para além destas captações rudimentares, foram observadas captações por furo do tempo colonial, a maior parte desativada e entulhada, embora uma ou outra possa estar ainda funcional. Existem ainda captações modernas (furos), feitas nos últimos anos no âmbito de projetos similares a este, e que contam já com extração baseada em eletricidade gerada por painéis solares, instalações vedadas e protegidas,

associadas ao abastecimento da população e do gado e também algumas com tanques de lavar roupa.



Fig. 2. Poço tradicional, escavado à mão.

A próxima fase do projeto é a seleção dos locais onde se pretendem fazer sondagens à rotapercussão, que, em caso de sucesso, serão transformadas em captações. Há ainda a possibilidade de recuperar algumas captações pré-existentes (furos) e de realizar também algumas captações por poço, mas em condições técnicas muito mais sólidas.

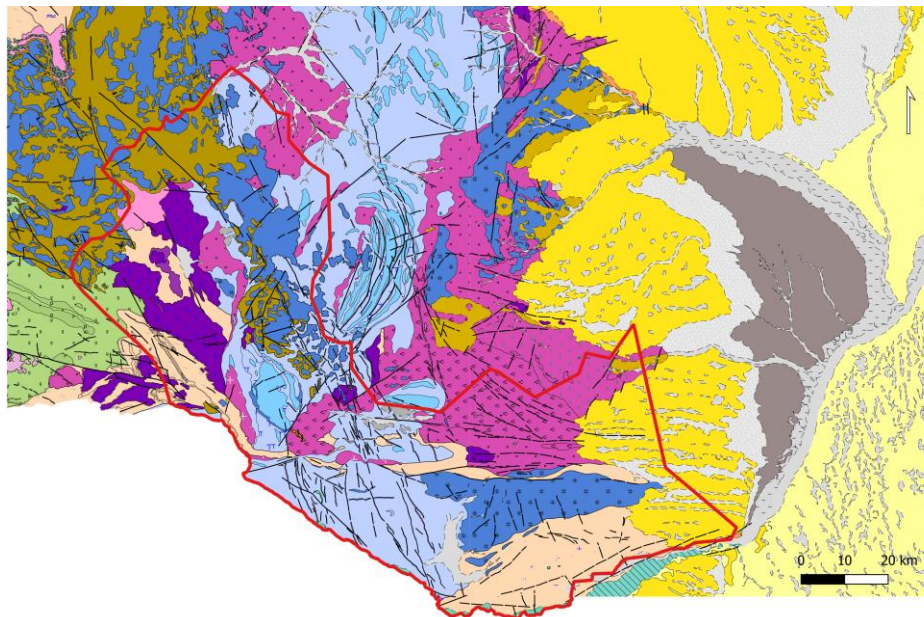


Fig. 1. Geologia do município do Curoca, com rochas ígneas e metamórficas em toda a parte oeste e uma pequena área de rochas sedimentares no extremo este (cores amarelo e cinza).

Agradecimentos: Projeto financiado pelo FRESAN/Camões IP, dirigido pela Associação para o Desenvolvimento pela Tecnologia, Engenharia, Saúde e Educação (TESE), com a participação da Universidade de Évora, Federação Luterana Mundial (FLM) e Gabinete para a Administração das Bacias Hidrográficas do Cunene, Cubango e Cuvelai (GABHIC).

Hydrochemical and isotopic composition ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) of rainwater from São Miguel (Azores, Portugal)

Composição hidroquímica e isotópica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) de águas da chuva de São Miguel (Açores, Portugal)

L. Ferreira (1), J. Virgílio Cruz (1,2), F. Viveiros (1,2), N. Durães (3), R. Coutinho (1,2), C. Andrade (1) and J. F. Santos (3)

- (1) IVAR – Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal; leticia.r.ferreira@azores.gov.pt
- (2) FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal
- (3) GeoBioTec – Geobiociências, Geoengenharias e Geotecnologias, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

Sumário: Amostras de águas da chuva foram recolhidas nos vulcões das Furnas e do Fogo, São Miguel (Açores). A hidrogeoquímica das amostras resulta da influência de três componentes: água do mar, fluidos fumarólicos e poeiras minerais, resultantes da erosão das rochas locais. As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.70849 - 0.71027) apresentadas pelas águas da chuva são similares às da água do mar, revelando que os sais marinhos são provavelmente a maior fonte dos iões dissolvidos. Os resultados estão dentro dos valores apresentados pela precipitação de Portugal continental. Uma das amostras desvia-se desses valores, exibindo uma razão isotópica de estrôncio mais baixa (0.70701), o que sugere a influência dos fluidos fumarólicos.

Palavras-chave: hidrogeoquímica, precipitação, fumarolas, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Açores

Key words: hydrogeochemistry, precipitation, fumarole, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Azores

Rain chemistry has been the subject of extensive research over the last few decades in order to determine the geochemical mechanisms that control the water composition (e.g., Négrel *et al.*, 2007). In the present work rain samples were collected at Furnas and Fogo volcanoes, located in São Miguel (Fig.1a), in order to characterize the chemical fingerprint of the rainwaters and to investigate a possible interaction with fumarolic gases.

The collected samples are plotted along the seawater dilution line in the Na^+ vs. Cl^- binary plot (Fig.1b). Despite the fact that some samples are close to the line, showing the influence of marine aerosols, the majority, with the exception of CRQ, depict an enrichment in Cl^- , representing a local chlorine source (Fig.1b). The chlorine enrichment presented by CC is accompanied by an increment in SO_4^{2-} (Fig.1c), which can be attributed to a volcanogenic origin (Madonia & Liotta, 2009). On the other hand, the other samples show a small increment of Cl^- , which can be attributed to the fumarolic contribution, to a third source contribution (e.g., anthropogenic) or to the Cl^- or Na^+ fractionation. The remaining sample show an increment in sodium, which can be attributed to the influence of dust particles.

In order to decipher the chemical complexity of the rainwaters the sea salts and terrestrial component were calculated. Sodium was used as a reference element for the sea salt component. The marine origin ranges from 11.5 to 100 % for Cl^- , 4.7 to 100 % for SO_4^{2-} , 4.4 to 35.1 % for Ca^{2+} , 64.2 to 90.6 % for Mg^{2+} and 10.3 to 48.2 % for K^+ . This demonstrates not only the influence of marine aerosols over the chemistry of these waters, but also the importance of other sources such as fumarolic fluids and mineral dust.

Most of the rainwater samples have $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ that vary from 0.70849 to 0.71027 (Fig.1d) similar or slightly higher than that of the seawater ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70918 \pm 1$; Faure and Mensing, 2005), suggesting that sea salts are the main source of the strontium isotopic ratios. Results are within the range of values presented by rainwater in mainland Portugal ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.708965 \pm 31 - 0.710345 \pm 38$; Ribeiro *et al.*, 2014). One sample deviates from these values, exhibiting a lower strontium isotopic ratio (0.70701). This sample is exposed to the fumarolic fluids, which are mainly composed of steam water (e.g., Caliro *et al.*, 2015). The boiling pools that produce the steam have strontium isotopic values ranging from 0.705408 (Caldeira Asmodeu) to 0.705432 (Caldeira Grande;

Ferreira *et al.*, 2023). This confirms that the sample results from the mixture between rainwater and

fumarolic fluids (Fig.1d), as interpreted from the main elemental hydrogeochemical data.

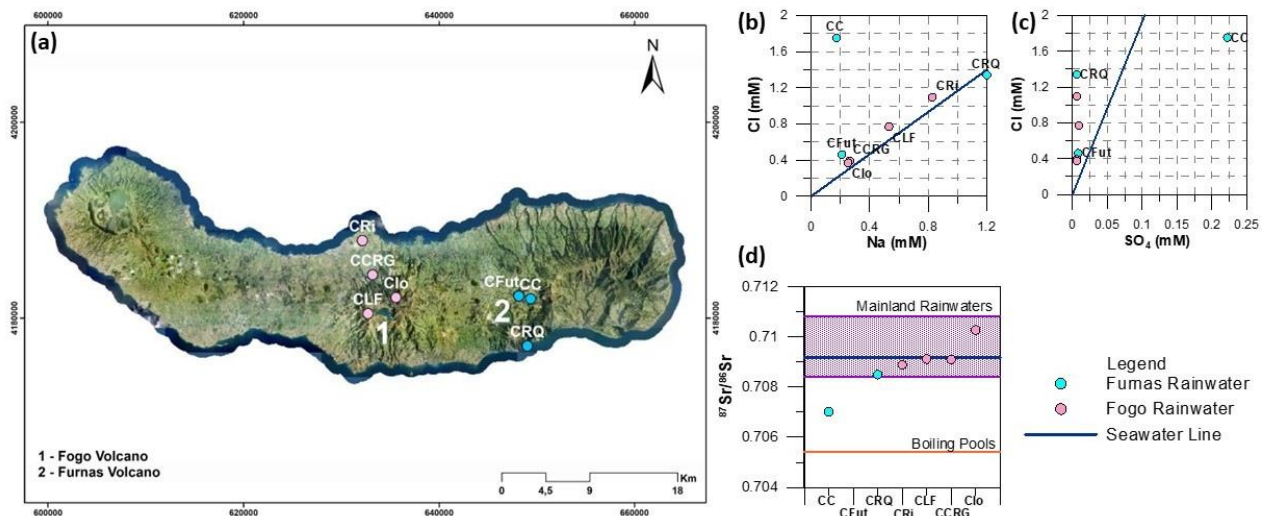


Fig. 1. (a) Location of the sampled rainwaters along São Miguel Island; (b) Na vs. Cl bivariate plot; (c) SO₄ vs. Cl bivariate plot; and (d) display of the isotopic ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr of the samples (Sr isotopic ratios of Portuguese mainland rainwater, seawater and boiling pools from Furnas were projected).

Acknowledgments: Letícia Ferreira is supported by a PhD grant from Fundação para a Ciência e a Tecnologia (SFRH/UI/643/2020).

References

- Caliro, S., Viveiros, F., Chiodini, G. & Ferreira, T. (2015). Gas geochemistry of hydrothermal fluids of the S. Miguel and Terceira Islands, Azores. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 168, 43-57.
- Faure, G. & Mensing, T.M. (2005). *Isotopes, principles and applications* (3th edition). John Wiley & Sons.
- Ferreira, L., Cruz, J.V., Viveiros, F., Durães, N., Coutinho, R., Andrade, C., Santos, J.F. & Accioli, M.H. (2023). Hydrogeochemistry and strontium isotopic signatures of mineral waters from Furnas and Fogo Volcanoes (São Miguel, Azores). *Water*, 15, 245.
- Madonia, P. & Liotta, M. (2010). Chemical composition of precipitation at Mt Vesuvius and Vulcano Island, Italy: volcanological and environmental implications. *Environmental Earth Sciences*, 6, 159-171.
- Négrel, P., Guerrot, C. & Millot, R. (2007). Chemical and strontium isotope characterization of rainwater in France: influence of sources and hydrogeochemical implications. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 43(3), 179-196.
- Ribeiro, S., Azevedo, M.R., Santos, J.F., Medina, J. & Costa, A. (2014). Sr isotopic signatures of Portuguese bottled mineral waters and their relationships with the geological setting. *Comunicações Geológicas*, 101 (1), 29-37.

Contribuição do método geofísico eletromagnético no domínio de tempo para o estudo dos sistemas aquíferos multicamada transfronteiriços da bacia do Kalahari, Cunene, Angola

Contribution of the time domain electromagnetic method to the study of the transboundary multilayered aquifer systems of the Kalahari basin, Cunene, Angola

A. Francés (1), E. Ramalho (2), F. Monteiro Santos (3), J. Llorente (4), T. Mateus (5), I. Cuervo (6), J. Lobón (4), V. Dala (7), M. Ditutala (7) e A. Victorino (7)

- (1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Portugal, alain.frances@lneg.pt
- (2) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Portugal
- (3) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa – Instituto D. Luiz, Portugal
- (4) Instituto Geológico y Mineiro de España (IGME-CSIC), Espanha
- (5) Governo da Província do Cunene, Angola
- (6) Impulso Angola, Angola
- (7) Instituto Geológico de Angola (IGEO), Angola

Summary: Under the scope of project PLANAGEO, a geophysical survey using the time domain electromagnetic (TDEM) method was planned and conducted. This survey aimed to contribute to the hydrogeological conceptual model of the KOS and KOH aquifer systems, to validate the 1960 data electrical resistivity reprocessing and to define the future location of deep boreholes. The TDEM survey allowed identifying different layers with different geoelectric characteristics and assigning electrical resistivity characteristics to each hydrogeological feature of the aquifer systems. These assumptions were found adequate, and the results were used to define the drilling locations of 5 wells.

Key words: Kalahari-Ohangwena aquifer system; Hydrogeophysics; time domain electromagnetics; deep borehole

Palavras-chave: Sistema aquífero Kalahari-Ohangwena; hidrogeofísica; eletromagnética no domínio tempo; furos

No âmbito do Plano Nacional de Geologia (PLANAGEO), foi desenvolvido um estudo das águas subterrâneas no Sul de Angola, na província do Cunene, pois trabalhos prévios realizados no Norte da Namíbia pela equipa do Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) e pelos Serviços Geológicos da Namíbia (Lindenmaier et al., 2014) apontavam para a extensão para Angola dos sistemas aquíferos multicamada Oshana (KOS) e Kalahari-Ohangwena (KOH), compostos essencialmente por intercalações de areias com água mais ou menos mineralizada e argilas e siltes. O presente estudo baseou-se na reinterpretação de dados antigos (geoeletricos e sondagens, Ramalho et al., 2023a), numa campanha de geofísica terrestre (presente comunicação) e a realização de várias sondagens de pesquisa (Ramalho et al., 2023b).

Após a realização da modelação 1D e 3D das sondagens elétricas verticais (SEV) realizadas na década de 1960 (Ramalho et al., 2023a), e da validação preliminar das mesmas, foi igualmente necessário proceder à sua validação nas condições ambientais atuais e com métodos passíveis de controle. Assim, foi projetada e realizada uma campanha de prospeção eletromagnética no domínio tempo (TDEM), que pretendeu contribuir para a definição da geometria da bacia sedimentar do Cunene, nomeadamente do aquífero intermédio, salino, e

do profundo, com água menos mineralizada. Este método foi escolhido por ser sensível a condutividades elétricas elevadas, pela inexistência de campos eletromagnéticos antrópicos na área (ruído) e por atingir profundidades da ordem de grandeza da profundidade dos níveis aquíferos do KOS/KOH (até cerca de 400 m). Destaca-se também por ser relativamente fácil de instalar no campo e por um tempo reduzido para aquisição dos dados. O equipamento selecionado foi o ABEM WalkTEM 2 com *loop* de 200 m de lado. O plano de aquisição dos dados foi desenhado de uma forma sistemática para uma melhor orientação dos trabalhos no campo: os TDEMs foram distanciados de 2 a 4 km, ao longo dos 6 perfis da Fig. 1, escolhidos para atravessar a bacia longitudinal (perfis 01_T_NW_1 e 02_T_NW_2) e transversalmente (restantes perfis). O reconhecimento e a marcação dos *loops* de TDEM foi realizado sobre fotografia satélite (serviços Google, ESRI, Bing). Preferencialmente, estes *loops* foram realizados dentro de “quimbos”, para minimizar risco de minas antipessoal ou antitanque. Contudo, devido aos reais riscos presentes, foi feita uma desminagem prévia em cada *loop*. No total, foram realizados 112 *loops* dos 197 previstos (Fig. 1). Os trabalhos decorreram no início da estação seca em 2021. Foram realizadas (i) inversão 1D de todos os dados adquiridos usando o programa de inversão SPIA (Aarhus Geosoftware) e (ii) inversão quasi-2D, ao longo dos 6

perfis da Fig. 1, de acordo com o método descrito por Monteiro Santos (2004). Os 6 perfis 2D, coerentes com os resultados do modelo tridimensional das SEVs (Ramalho et al., 2023a), evidenciam a alternância de camadas de resistividades baixas a muito baixas (< 50 ohm.m), sobre um soco de resistividade mais elevada (100 ohm.m). Destacam-se: (i) a presença de um substrato de resistividades elétricas superiores a 20 ohm.m, compatíveis com a existência de um aquífero profundo e/ou do soco; (ii) uma zona de resistividades elétricas muito baixas, contínua em praticamente toda a bacia, que incorpora um aquífero intermédio e os níveis argilosos (aquitardos) que o separam do aquífero superficial livre e do profundo; (iii) uma camada de resistividades intermédias (5-20 ohm.m), que poderá corresponder a uma camada de areias com água de mineralização mais baixa e/ou com uma componente argilosa mais ou menos acentuada.

Os resultados obtidos serviram para localizar cinco sondagens hidrogeológicas de pesquisa (Ramalho et al., 2023b), com uma previsão acertada das profundidades do soco e do aquífero profundo (Tabela I), confirmando a utilidade desta ferramenta geofísica em futuros trabalhos de prospeção hidrogeológica neste sistema aquífero.

Tabela I. Erros associados à estimativa das profundidades totais das sondagens (soco), do topo e da base do aquífero profundo.

FURO	SOCO	Topo aq. prof.	Base aq. prof.
F1	-8%	12%	-9%
F2	27%	72%	56%
F4	-48%	-5%	-18%
F5	-37%	14%	-21%
F6	-26%	-24%	-15%

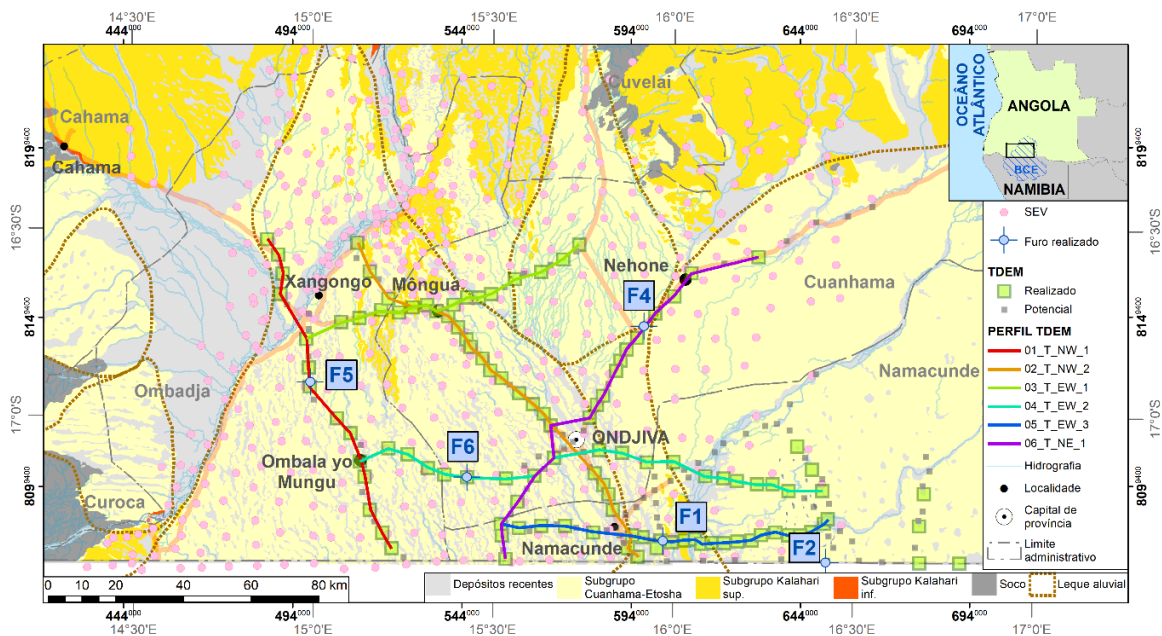


Fig. 1. Localização dos levantamentos geofísicos na região do Cunene (SEVs: ver Ramalho et al., 2023a; furos: ver Ramalho et al., 2023b). BCE: Bacia do Cuvelai-Etoshá. Coordenadas geográficas: Camacupa. Coordenadas projetadas: Camacupa UTM zona 33S.

Agradecimentos: Agradecemos a colaboração dos sobas da região estudada e do Governo da Província do Cunene.

Referências

- Lindenmaier, F., Miller, R., Fenner, J., Christelis, G., Dill, H.G., Himmelsbach, T., Kaufhold, S., Lohe, C., Quinger, M., Schildknecht, F., Symons, G., Walzer, A. & van Wyk, B. (2014). Structure and genesis of the Cubango Megafan in northern Namibia: implications for its hydrogeology. *Hydrogeology Journal*, 22, 1307-1328. <https://doi.org/10.1007/s10040-014-1141-1>.
- Monteiro Santos, F. A., 2004. 1-D laterally constrained inversion of EM34 profiling data. *Journal of Applied Geophysics*, 56, 123-134. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2004.04.005>.
- Ramalho, E. C., Francés, A. P., Santos, F. M. & da Mata Victorino, A. (2023a). 3D electrical structure definition of aquifer systems in the Kalahari basin in Southern Angola based on legacy data reprocessing. *Journal of Applied Geophysics*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2023.104968>
- Ramalho, E., Francés A., Martín, R., Mateus, T., Llorente, J., Famosa, A., Cuervo, I., Lobón, J., Victorino, A. M. (2023b). Contribuição de sondagens mecânicas e diagrfias para o estudo dos sistemas aquíferos multicamada transfronteiriços da bacia do Kalahari, Cunene, Angola. Resumos do XI CNG 2023.

Caraterização hidrogeológica do Domínio Central (Tornada) do sistema aquífero Caldas da Rainha-Nazaré

Hydrogeological characterization of Central Domain (Tornada) of Caldas da Rainha-Nazaré aquifer system

J. Henriques (1), J.M. Azevedo (2), N. Rodrigues (3) e A.M. Castilho (3)

(1) David Henriques & Filhos, Lda, Benedita; davihenriques56@gmail.com

(2) Univ Coimbra, CITEUC & Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia

(3) Univ Coimbra, CGEO, Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia

Summary: Based on lithostratigraphic and piezometric data from technical reports of 23 boreholes located on the Central Domain (Tornada) of Caldas da Rainha-Nazaré Aquifer System (O33), geometric models and piezometric maps were built. Those models and maps point to the occurrence of two sectors - E and W – within the aquifer system, expressing each one very distinctive morphology and hydrodynamic: the westward sector has the main recharge area of the aquifer system, placed at W, and the eastwards sector expresses an important discharge area located at N.

Key words: Caldas da Rainha-Nazaré Aquifer System; Plio-pleistocenic deposits; Geometric modelling; Aquifer hydrodynamics

Palavras-chave: Sistema Aquífero Caldas da Rainha-Nazaré; Depósitos do Plio-pleistocénico; Modelação geométrica; Hidrodinâmica aquífera

O conhecimento da morfologia e da hidrodinâmica de um aquífero constituem ferramentas determinantes para uma boa gestão e uma exploração sustentada da água subterrânea. O presente estudo baseou-se na análise de relatórios de furos implantados numa área de aproximadamente de 21 km², no setor central do Sistema aquífero Caldas da Rainha-Nazaré.

O domínio estudado localiza-se no distrito de Leiria, concelho de Caldas da Rainha e está enquadrado na Região Hidrográfica das Ribeiras do Oeste (APA, 2012), mais precisamente na bacia hidrográfica do rio da Tornada. Apresenta uma morfologia em depressão alongada com direção aproximada NE-SW e uma fraturação de origem diapírico-tifónica. A geologia é marcada pela presença de formações sedimentares marinhas e continentais do Plio-Pleistocénico e formações margo-calcárias do Jurássico inferior (Zbyszewski & Matos, 1959; Zbyszewski & Moitinho de Almeida, 1960). As formações plio-pleistocénicas são as que apresentam maior potencial aquífero.

Enquadramento hidrogeológico

O domínio em análise insere-se no Sistema Aquífero Caldas da Rainha-Nazaré (O33) (Almeida *et al.*, 2000). Este Sistema é constituído maioritariamente pelas formações siliciclásticas plio-pleistocénicas e modernas. Nestas formações evoluem várias unidades aquíferas do tipo multicamada, não-confinadas e semi-confinadas. Apresenta uma espessura média de 70 m (Almeida *et al.*, 2000). A

base deste Sistema é constituída pela Formação das “Margas e Calcários de Dagorda”.

O Sistema aquífero apresenta uma geometria muito variável condicionada pela estrutura diapírica, pela tectónica regional e por factores paleo-ambientais. A recarga aquífera decorre essencialmente da precipitação atmosférica e da infiltração, havendo nalguns locais recarga a partir de linhas de água.

Na zona em estudo a formação de base - “Margas e Calcários de Dagorda” - aflora e divide o Sistema aquífero em dois sectores com hidrodinâmicas e morfologias distintas: sector W e sector E.

Para ambos os sectores foram realizadas cartas piezométricas e de fluxo hídrico (Fig. 1) com base em medições do nível hidrostático em 23 furos. As cartas obtidas apresentam necessariamente pequenas imprecisões devido a: (1) distorção dos níveis hidrostáticos devido à ocorrência de cones de rebaixamento nas proximidades dos furos utilizados e (2) distribuição heterogénea dos pontos de medição em cada setor.

Resultados e conclusões

O tratamento e a interpretação dos dados constantes nos relatórios dos furos seleccionados (elementos estruturais e litostratigráficos dos logs litológicos e elementos piezométricos) permitiram expressar o seguinte:

- Localmente a morfologia do Sistema aquífero é claramente condicionada por fatores estruturais

(sobretudo falhas nas formações subjacentes aos depósitos plio-pleistocénicos) e por fatores paleo-geomorfológicos e paleo-deposicionais, os quais são fortemente condicionantes da espessura aquífera;

- A geometria do sector W caracteriza-se por apresentar uma depressão em sinforma com direção W-E; tendo a sua base contornos muito irregulares, onde se destacam duas depressões mais acentuadas com alinhamento NW-SE; o topo apresenta-se quase plano; os limites laterais E e W expressam declives medianos, enquanto que os N e S são irregulares;
- A geometria do sector E caracteriza-se por apresentar uma forma regular em todos os domínios, e o aquífero apresenta-se em sinforma com eixo E-W;

- O aquífero associado às formações plio-pleistocénicas prolonga-se em profundidade para N;

- A hidrodinâmica intra-aquífera no sector W caracteriza-se por expressar um baixo gradiente hidráulico a E e outro, mais acentuado, a W (principal zona de recarga aquífera);

- no sector E a hidrodinâmica intra-aquífera caracteriza-se por apresentar um baixo gradiente hidráulico a W e outro, mais elevado, a N, onde se localiza a zona de descarga aquífera mais importante.

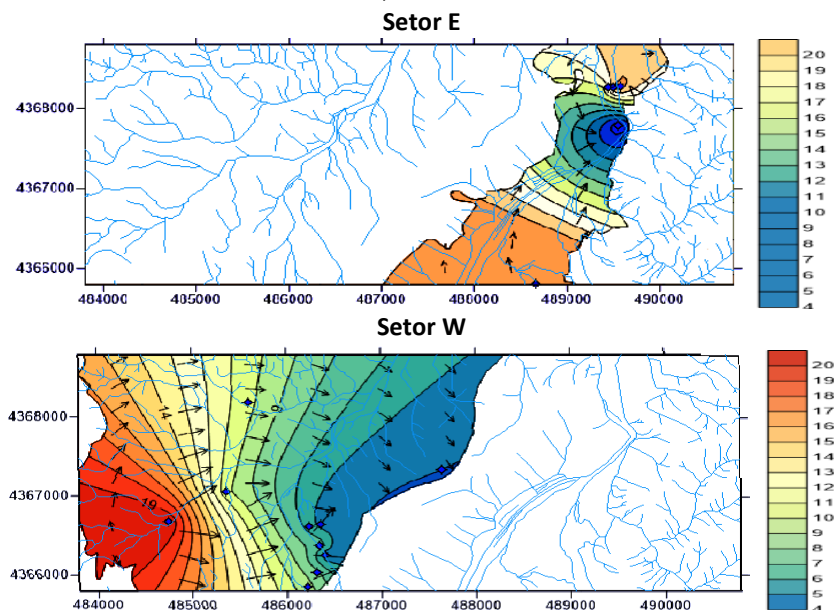


Fig. 1. Cartas piezométricas (isopiezas em m) e de fluxo hídrico do aquífero estudado, referentes aos setores E e W (adaptado de Henriques, 2015 e Henrique et al, 2019).

Agradecimentos: À empresa de sondagens David Henriques & Filhos, Lda (Benedita) agradece-se a disponibilização de dados de campo. Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito dos projetos UIDB/00073/2020 e UIDB/00611/2020.

Referências

- Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2012). *Plano de Gestão da Região Hidrográfica - Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5)*. Relatório Técnico. Agência Portuguesa do Ambiente.
- Almeida, C.; Mendonça, J.; Jesus, M., & Gomes, A. (2000). Sistema Aquífero Caldas da Rainha – Nazaré – O33. In *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental* (pp. 421-431). Instituto da Água. https://snirh.apambiente.pt/Snirh/Download/Aquiferos_Portugalcont/Ficha_O33.Pdf
- Henriques, J. (2015). *Sistema Aquífero Caldas da Rainha-Nazaré: Hidrodinâmica e Modelação Geométrica do Setor Central (Tornada)*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra. <http://hdl.handle.net/10316/98861>
- Henriques, J.; Azevedo, J.M.; Rodrigues, N., & Castilho, A.M. (2019). Hidrodinâmica e Modelação Geométrica do Sector Central (Tornada) do Sistema Aquífero Caldas da Rainha-Nazaré. *12º Seminário Águas Subterrâneas*. APRH/FCTUC, Coimbra.
- Zbyszewski, G., & Matos, R. (1959). Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000. Folha 26-D – Caldas da Rainha. Serviços Geológicos de Portugal.
- Zbyszewski, G., & Moitinho de Almeida, G. (1960). Notícia explicativa da folha 26-D, Caldas da Rainha. Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Serviços Geológicos de Portugal.

Wildfires effects on the groundwater recharge: a case study in the Pinhal de Leiria (Portugal)

Efeitos dos incêndios florestais na recarga da água subterrânea: um caso de estudo no Pinhal de Leiria (Portugal)

M. La Pasta Cordeiro (1), J. Duarte (3), J. L. Carvalho (3), M.T. Condesso de Melo (1) e J. P. Nunes (2)

- (1) CERIS, Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa, mlapasta@tecnico.ulisboa.pt
- (2) Universidade de Wageningen – Países Baixos
- (3) Centro de Geociências – Universidade de Coimbra

Resumo: O presente estudo tem como objectivo estimar a recarga ao aquífero Vieira de Leiria - Marinha Grande através do método do balanço hídrico utilizando dados climáticos e parâmetros do solo para avaliar os efeitos dos incêndios florestais nas áreas ardida e não ardida no Pinhal de Leiria (Portugal). Os resultados mostram a diminuição da evapotranspiração potencial ajustada devido à remoção da vegetação pelo incêndio e o aumento da recarga da água subterrânea no aquífero de cerca de 15% no primeiro ano, 7% no segundo e 3% no terceiro ano quando comparados com os valores esperados. Este aumento está relacionado em grande parte à diminuição da evapotranspiração, mas também é condicionado pelas características geológicas, geomorfológicas e pedológicas da área, além de condições climáticas específicas.

Palavras-Chave: recarga subterrânea; deteção remota; ETP; incêndios florestais

Keywords: groundwater recharge; Remote sensing; PET; Wildfires

Introduction

Climate change effects have been documented in several regions worldwide. In Portugal, the trends show warmer and drier summers with an increase in the number and severity of heatwaves and wildfires.

The Leiria Pine Forest is a unique woodland planted more than 700 years to contain the advance of the dune system in the area, and although the region is essentially supplied by groundwater from the Vieira da Leiria - Marinha Grande aquifer, very little is known about the hydrological consequences of the recurrent fires occurred in the forest, especially the last documented one that took place in October 2017 and devastated about 86% of it (Fig. 1). The main objective of this study is to evaluate the effects of this fire in groundwater recharge of the Vieira de Leiria - Marinha Grande aquifer (O12).

Methodology

The soil water balance was calculated using remote sensing vegetation index data from MODIS satellite (Didan, 2015) and climate data (precipitation and temperature) from the E-OBS database with 250 m resolution and 16-day interval. The crop coefficient (K_c) was estimated following the methodology proposed by Duchemin *et al.* (2006) and the potential evapotranspiration (PET_{HS}) for the period from 1995 to 2020 was calculated through the Hargreaves method (Hargreaves & Samani, 1985). Finally, the crop adjusted

potential evapotranspiration (PET_{ca}) was obtained using the equation $PET_{ca} = PET_{HS} \times K_c$.

A geophysical investigation was conducted using georadar to identify existing geological features and to determine depth, extent and spatial distribution of groundwater in the subsoil. The recharge simulations were calculated using the soil water balance methodology for the burnt and unburnt areas for the period from 2001 to 2020 using the model proposed by Serrano-Juan and Vazquez-Suñe (2015).

Results

The PET_{ca} results for the burnt area were consistently higher than the obtained for the unburnt one due to the greater homogeneity of the vegetation. Besides, a sharp decrease is observed in the PET_{ca} values in the burnt area right after the fire until approximately 6 months after it, when the values start to gradually increase suggesting the recovery of the vegetation, while in the unburnt area, the values are similar to the expected considering the observed historical data.

Regarding the annual recharge after the fire, the results for the unburnt area are slightly lower than the expected, which can be related to the fact that the expected values were based on the average of the observed historical data and do not consider interannual variations. For the burnt area, results show an average recharge of approximately 40% before the fire, increasing 50% in the first year after it, 30% in the

second and 17% in the third year, when compared to the expected values.

The total aquifer recharge was estimated using the weighted average of the values obtained to the burnt and unburnt areas and the results suggest an increase of 15% in the first year, 7% in the second and 3% in the third year after the fire.

Conclusion

Although the use of remote sensing data to estimate groundwater recharge presents uncertainties related to calculations, interpolations, atmospheric conditions and satellite precision, it has proven to be a powerful tool to overcome the absence of monitoring data. The recharge estimations show a meaningful increase in the

first year after the fire and a gradual decline in the following years.

Predicting the hydrological impacts of wildfires is a complex process due to the difficulty in isolating the consequences of land cover and soil properties changes, and climate variability. Nevertheless, the geological background and topographical conditions seem to exert a decisive role in the hydrological conditions in the Leiria Pine Forest region.

Given the rising concern about the impacts of climate change on the frequency and intensity of wildfires and heatwaves in the Mediterranean region, it is crucial to understand the impacts of these events in groundwater to propose effective management and adaptation measures and guarantee future supply.

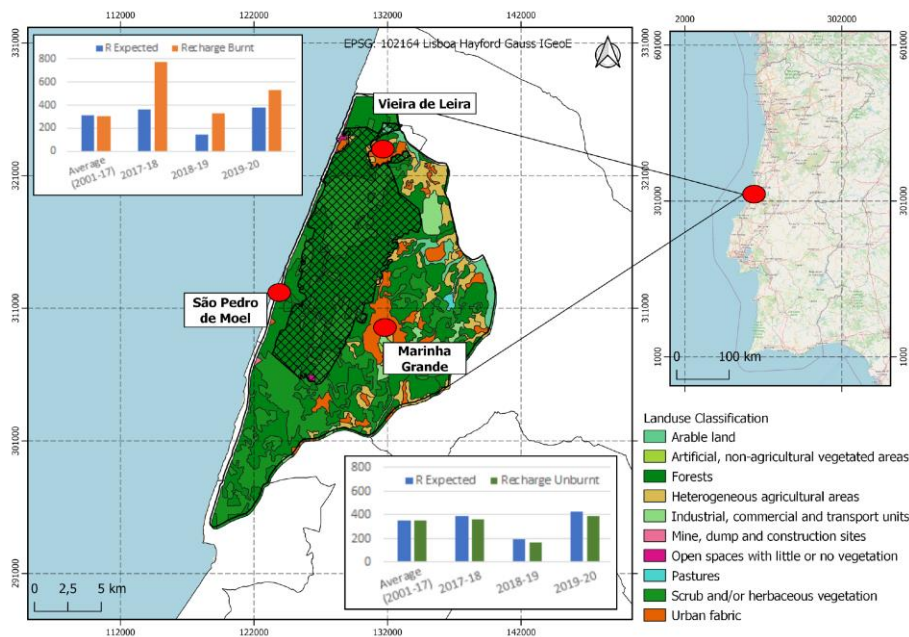


Fig. 1. Location of the study area with land use distribution. The dashed area corresponds to the area burnt in the fire occurred in October 2017. The graphs attached show the increase in groundwater in the burnt and unburnt areas in the years following the event.

Acknowledgements: We would like to thank the European Commission for funding a 2-year Erasmus Mundus scholarship for following the Joint Master Degree Programme on Groundwater and Global Change—Impacts and Adaptation, the Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) for the PhD scholarship (2021.06868.BD) and the Civil Engineering Research And Innovation For Sustainability (CERIS) of Instituto Superior Técnico.

References

- Didan, K. (2015). MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>
- Duchemin, B., Hadria, R., Erraki, S., Boulet, G., Maisongrande, P., Chehbouni, A., Escadafal, R., Ezzahar, J., Hoedjes, J. C. B., Kharrou, M. H., Khabba, S., Mougenot, B., Oliso, A., Rodriguez, J-C. & Simonneaux, V. (2006). Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: On the use of relationships between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. *Agricultural Water Management*, 79 (1), 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.02.013>
- Hargreaves, G. H. & Samani, Z. A. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*. 1(2): 96-99. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.26773>
- Serrano-Juan, A. & Vázquez Suñé, E. (2015). EASY BAL Software. Hydrogeology Group - Department of Geotechnical Engineering - UPC, Spain. <https://h2ogeo.upc.edu/en/investigacion-hydrogeology/software/147-easy-bal-en>.

Análise de perfis verticais de ^{222}Rn e outros parâmetros físicos na albufeira da barragem da Aguieira (Rio Mondego)

Analysis of vertical logging of ^{222}Rn and other physical parameters in the Aguieira's dam reservoir (Mondego River)

G. S. Luís (1), A. J. S. C. Pereira (1), S. L. R. Sêco (2) e L. F. Neves (1)

Universidade de Coimbra, CITEUC - Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, Portugal, gustavo.psl96@gmail.com
Universidade de Coimbra, IDL - Instituto Dom Luiz, Departamento de Ciências da Terra, Portugal

Summary: *Water quality of surface waters is under the pressure of physical external factors which impose a spatial and temporal variability. Vertical logging of ^{222}Rn , pH, electrical conductivity (EC) and temperature (T) were conducted at a sample location in the Mondego River under the influence of Aguieira's reservoir. The first vertical logging (May of 2022) shows a vertical stratified water column according to temperature (i.e. epilimnion, thermocline and hypolimnion). The other physical parameters show a good correspondence, including the ^{222}Rn that increased at the center of the thermocline. The second vertical survey (January of 2023) is relatively homogeneous, with higher values of ^{222}Rn , but it still shows a surface layer characterized by the decrease of T and EC. Data presented in this study contributes to a better understanding of the vertical distribution of ^{222}Rn , and thus to water quality assessment, complementing other more commonly used tracers.*

Key words: radon, water quality, surface water, reservoir

Palavras-chave: radão, qualidade da água, águas superficiais, albufeira

A qualidade das águas superficiais encontra-se sujeita à influência de fatores físicos externos, de caráter natural e antrópico (e.g. temperatura, precipitação e ocupação dos solos), os quais impõem uma variabilidade espacial e temporal (Winter, 1999). A barragem da Aguieira [Bacia Hidrográfica do Mondego (BHM)], foi construída em 1981 com os objetivos de regulação de cheias e produção elétrica, mas também de abastecimento público e irrigação. Para estes últimos e para a proteção dos ecossistemas, é essencial a preservação da qualidade da água. No sentido de investigar a interação entre este recurso hídrico e o restante sistema hidrogeológico, e a sua possível influência no ecossistema, propõe-se neste estudo a aplicação de técnicas menos convencionais, como a utilização de traçadores radioativos, nomeadamente o gás radão (^{222}Rn).

Neste trabalho foi selecionado um ponto de amostragem no Rio Mondego [RMPvM: N 40,40211°, E -7,98739° (WGS84)], sob influência da barragem da Aguieira, onde foram realizados, pela primeira vez, perfis verticais ^{222}Rn em períodos distintos do ano hidrológico (maio de 2022 e janeiro de 2023). Com o auxílio de um mecanismo de colheita desenvolvido para o efeito (Luís et al., 2022), foram colhidas, em cada campanha, amostras a uma profundidade controlada, para as quais se realizaram medições *in-*

situ de pH, condutividade elétrica (CE) e temperatura (T). As análises de gás ^{222}Rn foram obtidas por cintilação líquida (LSC), no Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra.

Entre as campanhas, a coluna de água decresceu cerca de 4,5 m. No primeiro perfil realizado, verifica-se uma estratificação vertical da coluna de água (Fig. 1.A). No perfil de temperatura observam-se três níveis: i) o epilímnio (0-2 m); ii) a termoclina (2-8 m); e iii) o hipolímnio (>8 m). O decréscimo de pH e CE coincide com o início da termoclina, enquanto a atividade de ^{222}Rn exibe um incremento positivo na zona central da termoclina e um padrão estável nos dois metros do hipolímnio analisados. No perfil de janeiro de 2023 a estratificação não é tão evidente (Fig. 1.B), mas é possível identificar uma camada superficial (0-3 m), caracterizada pela termoclina e pelo decréscimo de CE com a profundidade, verificando-se um padrão semelhante de aumento de ^{222}Rn no centro desta camada.

A coluna de água encontra-se mais homogénea em janeiro de 2023 (Tabela I), devido à menor exposição solar e maior velocidade e turbulência das águas, face à maior disponibilidade de água. Os maiores valores de ^{222}Rn observados no período pós-precipitação, como em janeiro de 2023, encontram-se concordantes com estudos preliminares de monitorização de águas superficiais na BHM.

Tabela I. Estatística descritiva básica dos perfis verticais realizados no ponto de amostragem RMPvM.

		^{222}Rn (mBq.L ⁻¹)	pH	CE (μS.cm ⁻¹)	T (°C)
Maio 2022	μ	544	8,0	78	22,1
	σ	208	1,4	2	2,0
	CV	0,38	0,17	0,03	0,09
Janeiro 2023	μ	1021	6,6	66	8,8
	σ	123	0,2	9	0,3
	CV	0,12	0,03	0,13	0,04

μ - média; σ - desvio padrão; CV - coeficiente de variação; CE - condutividade elétrica; T - temperatura.

Em ambos os perfis observa-se o escape do gás ^{222}Rn acima da termoclina. No perfil de janeiro, abaixo dos três metros de profundidade, apresenta correlação positiva com o pH [coeficiente de correlação de Pearson (ρ) de 0,84] e negativa com a temperatura ($\rho = -0,60$), e, em todo o perfil, o pH apresenta uma correlação inversa com a temperatura ($\rho = -0,74$). Estes resultados indicam que a temperatura seja a

principal fonte de variabilidade no perfil de janeiro e possivelmente controla a dissolução do gás na água. No perfil de maio verifica-se que o pH não reage de forma inversa à temperatura, sugerindo que este seja característico de cada camada. O aumento da CE na camada inferior, conjuntamente com os maiores valores de ^{222}Rn apontam para uma maior contribuição de águas subterrâneas no hipolimnion. A maior concentração no centro da termoclina sugere que a concentração do gás radão esteja possivelmente condicionada por diferenças de densidade ou na capacidade de dissolução do gás na água.

Espera-se que a continuidade dos estudos descritos contribua para o estudo da qualidade da água, podendo complementar os dados obtidos de outros estudos (e outros traçadores), fornecendo ainda informação adicional para a interpretação da dinâmica da estratificação na albufeira bem como da interação águas superficiais - águas subterrâneas.

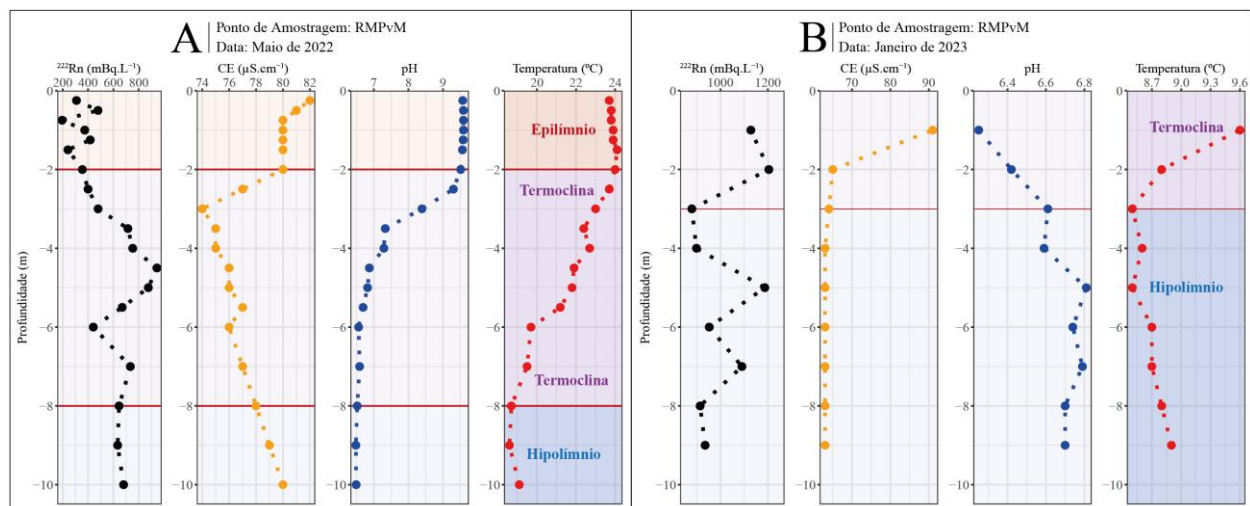


Fig. 1. Perfis verticais de ^{222}Rn , CE, pH e temperatura realizados num ponto de amostragem (RMPvM) no Rio Mondego sob influência da albufeira da barragem da Agueira em (A) maio de 2022 e (B) janeiro de 2023.

Agradecimentos: Os autores agradecem a colaboração do Mestre José Carvalho, ao Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra, ao projeto FSE CENTRO-04-3559-FSE-000142 e ao Instituto do Ambiente, Tecnologia e Vida. G.L. (bolsa UI/BD/151293/2021) e o CITEUC (projetos UIDB/00611/2020 e UIDP/00611/2020) agradecem o financiamento atribuído pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, através de fundos nacionais.

Referências

- Luís, G., Carvalho, J., & Pereira, A. (2022). Método de colheita em águas superficiais para análise do gás radão: Estudo preliminar em perfis transversais no rio Mondego (Portugal). In *Geoquímica Ibérica: Compendio de los trabajos presentados en el XIII Congreso Nacional de Geoquímica y XIII Congreso Ibérico 2022*.
- Winter, T.C. (1999). Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems. *Hydrogeology Journal*, 7, 28-45.

Contributo para a dedução da capacidade de armazenamento de água no solo e subsolo em pico de cheia ao longo do rio Limpopo-Moçambique

Contribute to the deduction of the water storage capacity in the soil and subsoil during peak flooding along the Limpopo River in Mozambique

L. J. Maloa (1), H. F. Macive (2) e C. L. Gomes (3)

- (1) Instituto Superior Politécnico de Gaza – Moçambique, maloluisjoaquim@gmail.com
- (2) Licenciatura em Engenharia Hidráulica - Instituto Superior Politécnico de Gaza, macive8@gmail.com
- (3) Lab2PT - Universidade do Minho, Gualtar, 4710-057 Braga Portugal, ensino2020.geo@gmail.com

Summary: *The purpose of this work was to contribute to the assessment of the water storage capacity in the soil and subsoil during peak flooding along the Limpopo River in Mozambique. For this purpose, the computational tool Qgis, in version 2.18.21, was used for the projection of topographic data and subsequent simulation of the water levels along the section selected as a key. The contours were established with equidistance of one meter, which allowed the extraction of topographic attributes of the section. The following step was the use of the Windows, Geometric Data (mean coefficients assigned) and steady flow Data (adding input data initially generated). The study of the hydrological regime suggested the real availability of water present in the soil and subsoil and the risk of floods to which the population is subject to.*

Key words: *water storage, flooding, flood peak, soils.*

Palavras chave: armazenamento de água, inundações, pico de cheia, solos

Na Região Sul de Moçambique, pequenas bacias hidrográficas, com condições geomorfológicas contrastantes, registam, em episódios de precipitação intensa e concentrada, picos de cheias que determinam escoamentos em regimes torrenciais, com rápidas variações dos níveis de água e das inundações a jusante (Brito et al., 2009). Estes pontos críticos de escoamento têm especial relevância na bacia hidrográfica do rio Limpopo, que se situa entre os paralelos 22° e 26° Sul e os meridianos 26° e 35° E. A bacia é partilhada por Moçambique, África do Sul, Botswana e o Zimbábwe, com uma área de 412 000 km².

As simulações efetuadas, permitiram obter elementos cartográficos (que constam da fig. 1) a partir de levantamentos aéreos, dados hidrográficos, climáticos e sedimentares, obtidos a partir de registos históricos de cheias e inundações, usando várias fontes, entre as quais, os Planos das Bacias Hidrográficas da Região Sul de Moçambique (DNA, 2012). Recorrendo à capacidade de armazenamento da barragem de Massingir, foi definida a expressão das áreas inundáveis e o comprimento dos troços críticos.

Quanto ao estudo de sedimentos carregados, as curvas granulométricas obtidas indicam pequena variação

das dimensões das partículas constituintes dos sedimentos.

Os parâmetros morfométricos (elementos do relevo) permitiram obter altitudes de referência, curvas de nível, declividades e permitiram estabelecer micro bacias de drenagem, utilizando imagens de Satélite Radar - ALOS PALSAR com resolução de 12.5 m, altitude mínima de 6.374 m e máxima de 95.235m. A bacia foi classificada como de 5ª ordem, num troço de 20482 m de extensão avaliado em maior detalhe - *Troço do Açude de Macarretane à Ponte de Guija.*

De modo geral o relevo, baseado nas classes de declividade, é considerado suave a ondulado, indicando maior ocorrência de declividades entre 3 e 8%. Prevaecem colinas com a maior predominância de altitudes situada abaixo de 50 m.

O armazenamento de água mostra uma grande variação percentual, para diferentes períodos, no troço de estudo.

Em condições de armazenamento não crítico, a capacidade de encaixe foi de 4 952 502 m³ totais, 830.432 m³/ano - 95.83% no solo e 4.17% no subsolo - e para um período de armazenamento crítico, a capacidade de encaixe foi de 30 658 134 m³ totais,

676.339m³/ano, - 63.72% no solo e 36.28% no subsolo.

Ao longo do troço, os pontos que mostram maior capacidade para o armazenamento de água no solo e subsolo compreendem locais com solos altamente orgânicos ou seja zonas com presença de coberto vegetal; os locais com tendência média para o armazenamento, compreendem os pontos com solos que têm maior percentagem de silte e menor percentagem de areia fina; os locais com menor

capacidade de armazenamento de água compreendem solos com maior percentagem de areia fina.

Sendo assim, as manchas da figura 1, indiciam a vulnerabilidade face à ocorrência de inundações em profundidades que variam de 54 cm a 8.1 m. Indiciam também a vulnerabilidade dos assentamentos populacionais e actividades antrópicas implantadas nas margens do leito de inundaçã

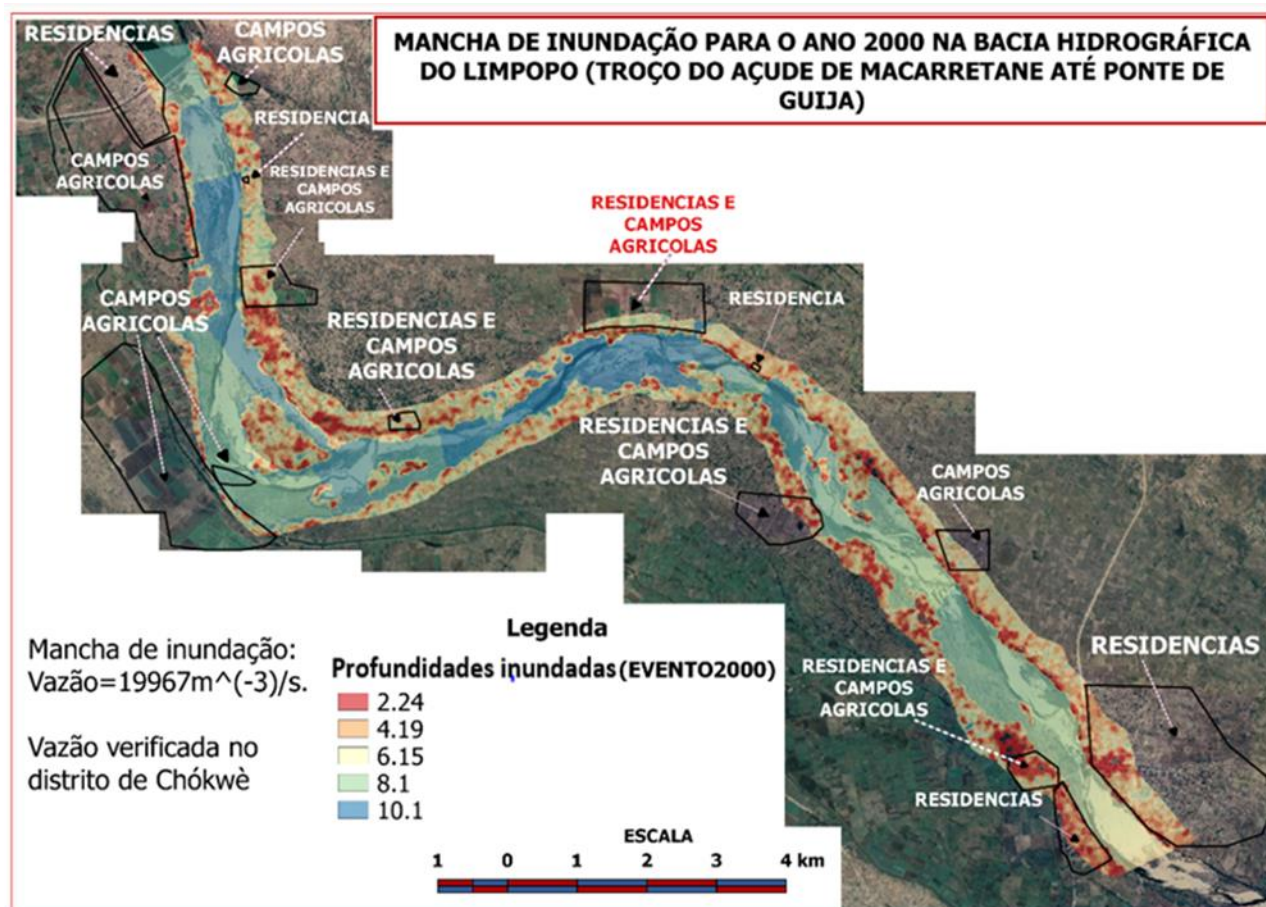


Fig. 1 - Variações e desequilíbrios de escoamentos no sistema fluvial do rio Limpopo com base nos caudais registrados no ano 2000.

Agradecimentos: Ao Banco Mundial através do Projeto do Ensino Superior, Ciência e Tecnologia (HEST), pelo apoio financeiro e logístico.

Referências

- Brito, R.; Famba, S.; Munguambe, P.; Ibraimo, N. & Julaia, C. (2009). *Profile of the Limpopo Basin in Mozambique - a contribution to the Challenge Program on Water and Food Project 17 "Integrated Water Resource Management for Improved Rural Livelihoods: Managing risk, mitigating drought and improving water productivity in the water scarce Limpopo Basin"*. Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Universidade Eduardo Mondlane, CP 257, Maputo, Moçambique.
- DNA (2012) *Estratégia Nacional de Água e Saneamento Urbano 2011 - 2025*. Direcção Nacional de Águas, Maputo, Moçambique.

Vulnerabilidade e risco do sistema aquífero das aluviões do Mondego no setor Coimbra-Montemor-o-Velho

Vulnerability and risk of the Aluviões do Mondego Aquifer System in the Coimbra - Montemor-o-Velho sector

A. Miranda (1), J. Ribeiro (1,2) e J. M. Azevedo (1,3)

- (1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra – jazevedo@dct.uc.pt
 (2) Instituto Dom Luiz, Lisboa, Portugal
 (3) Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço - CITEUC

Summary: *This study aims to quantify the intrinsic vulnerability (IV) and risk (R) to groundwater contamination in the Aquifer system of Aluviões do Mondego on the sector between Coimbra and Montemor-o-Velho. The studied domain is inserted in the intermediate-terminal section of the Mondego River Basin, and is implanted in Holocene alluvial deposits that rest on sedimentary formations of the Mesozoic. The IV was assessed using the DRASTIC method. The results point to a considerable IV in about 90% of the studied area. The R was determined through the combination of IV and hazard (considering the land use-LU). The results express the occurrence of a higher R, in most of the extension of the domain under study, occupying about 89%, resulting from the specific sedimentological, structural and hydrogeological characteristics of the terrain and from local land use practices.*

Key words: *Aluviões do Mondego aquifer system, groundwater contamination, intrinsic vulnerability, contamination risk, DRASTIC method.*

Palavras-chave: Sistema Aquífero das Aluviões do Mondego, contaminação hídrica, vulnerabilidade intrínseca, risco de contaminação, Método DRASTIC.

O domínio estudado está inserido no troço intermédio-terminal da Bacia Hidrográfica do rio Mondego, e está implantado em depósitos aluvionares holocénicos que assentam sobre formações sedimentares do Mesozoico.

Ao nível hidrogeológico, a unidade aquífera e a massa de água em estudo situam-se na Unidade Hidrogeológica portuguesa da Orla Ocidental, mais precisamente no setor centro-leste do Sistema Aquífero das Aluviões do Mondego. A unidade aquífera estudada apresenta as seguintes características gerais: é do tipo poroso não-confinado a semi-confinado; a recarga resulta fundamentalmente da infiltração e da transferência de água do rio no período invernal; a descarga opera-se principalmente por drenância para as formações do soco e por transferência hidráulica para o rio no período estival. A Vulnerabilidade intrínseca (VI) foi avaliada através do método DRASTIC (Aller et al., 1987), resultando da ponderação de índices hidrogeológicos atribuídos a sete parâmetros: profundidade do nível freático (D), recarga do aquífero (R), tipo de aquífero (A), tipo de solos (S), topografia (T), impacto da zona não saturada (I) e condutividade hidráulica (C). A valoração de cada parâmetro dependeu da sua importância relativa, em função das características estruturais, sedimentológicas e hidrogeológicas do domínio em estudo. Esta valoração baseou-se nos

pesos convencionais definidos por Aller et al. (1987), atribuindo um maior peso (valor de 5), ou seja, uma importância maior aos parâmetros D e I, seguindo-se o peso 4 ao parâmetro R, o peso 3 aos parâmetros A e C, e os menores pesos (menores relevâncias) - peso 2 - ao parâmetro S e peso 1 ao parâmetro T.

Os resultados obtidos apontam para uma considerável VI (compreendida no intervalo de 140 a 179), ocupando cerca de 90% da área em estudo (Fig. 1).

O Risco à contaminação hídrica (R) foi determinado através da soma ponderada da Vulnerabilidade intrínseca com a Perigosidade (equivalente ao uso e ocupação do solo ou *Land use - LU*), através da fórmula adaptada de Ribeiro (2005):

$$R = 0,6 VI + 0,4 LU$$

Os pesos de 0,4 e 0,6 atribuídos, respetivamente, a LU e a VI, resultam das características físicas específicas da zona em estudo, nomeadamente do facto de esta ser muito homogénea.

Nas figuras 1 e 2 estão representadas as distribuições espaciais da Perigosidade (ou LU) e do Risco à contaminação (R). Os resultados expressam a existência de um Risco à contaminação alto a muito alto na maioria do domínio em estudo (cerca de 89% da superfície, Fig. 2).

Os resultados obtidos, quer da VI, quer de R, estão claramente associados ao facto de na zona em estudo

ser praticada uma intensa atividade agrícola, de esta possuir uma topografia aplanada proporcionando uma forte infiltração e de apresentar uma baixa profundidade do nível freático, implicando uma reduzida espessura da zona não saturada (vadosa) o

que proporciona um maior risco de determinados contaminantes atingirem mais facilmente as massas de água subterrâneas.

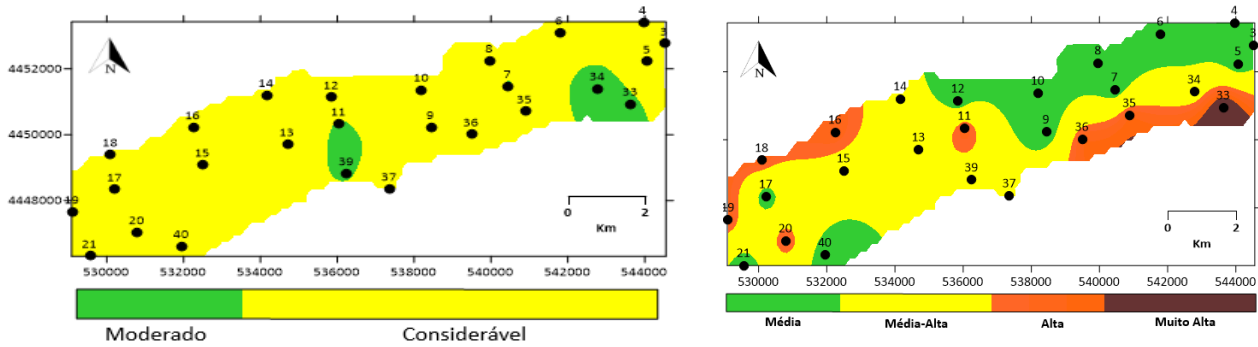


Fig. 1. Mapas da distribuição espacial da Vulnerabilidade intrínseca (esquerda) e da Perigosidade (direita) do aquífero aluvionar na área em estudo (adaptado de Miranda, 2021).

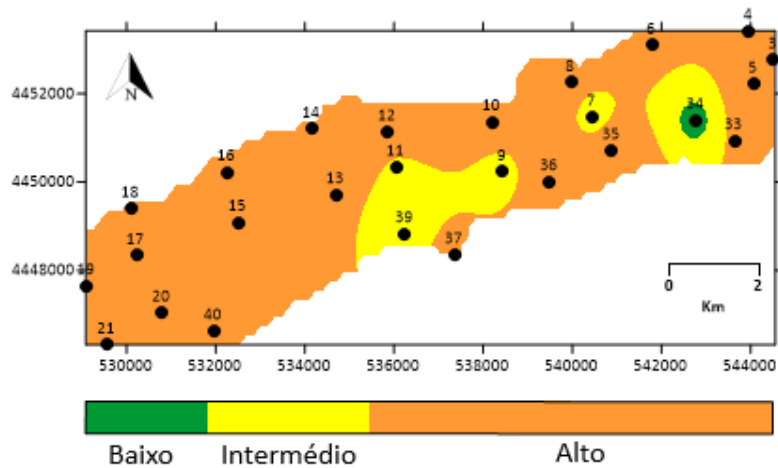


Fig. 2. Mapa da distribuição espacial do Risco à contaminação no aquífero aluvionar da área em estudo (adaptado de Miranda, 2021).

Agradecimentos: Ao Departamento de Ciências da Terra (FCTUC) pela disponibilidade dos meios tecnológicos e humanos para a realização deste trabalho.

Referências

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R., & Hackett, G. (1987). DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/2-87/035. <http://cfpub.epa.gov/si/ntislink.cfm?dirEntryID=35474>
- Miranda, A. (2021). Vulnerabilidade e Risco do Sistema Aquífero das Aluviões do Mondego no sector Coimbra-Montemor-o-Velho. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Ribeiro, L. F. (2005). Um novo índice de vulnerabilidade específico de aquíferos - Formulação e Aplicações. 7º SILUSBA. APRH – Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Évora, Portugal.

Impacts of large-scale irrigation systems on the groundwater salinity: a case study of Gabros de Beja aquifer system, Portugal

Impactos de sistemas intensivos de rega na salinização das águas subterrâneas: caso de estudo do sistema aquífero dos Gabros de Beja, Portugal

T. V. Medeiros do Nascimento (1), M. T. Condesso de Melo (1) e R. Proença de Oliveira (1)

(1) CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal. thiagovmdon@gmail.com

Sumário: Este trabalho objetiva analisar os impactos do Sistema de Rega de Alqueva (SRA) na salinidade do Sistema Aquífero Gabros de Beja (SAGB) localizado na região do Alentejo, Portugal. Para isto, foi utilizado o teste de Mann-Kendal para avaliação de tendências nas concentrações de cloretos do aquífero entre 2002 e 2021 utilizando um intervalo de confiança de 95%. Os resultados mostraram que dos 26 piezômetros analisados, 14 apresentaram uma tendência positiva, um apresentou tendência negativa, e os demais 11 não apresentaram tendência significativa. Todos os piezômetros com tendência não-significativa ou negativa estavam localizados em áreas não irrigadas. Portanto, o presente estudo observou uma tendência geral de salinização do SAGB, e apresenta como principal justificativa a influência do sistema intensivo de rega devido a efeitos evaporativos e uso de fertilizantes. Além disso, sugere-se também a influência de fontes geogênicas provenientes das formações xistosas localizadas sobretudo nas zonas de recarga preferencial do aquífero.

Palavras-chave: Rega, Cloretos, Salinização, Tendências.

Introduction

Alentejo is a large Portuguese agrarian flatland region, sparsely populated. It presents a relatively warm and dry Mediterranean climate characterized by low rainfall rates and exposure to water scarcity, and frequent drought events (Fraga et al., 2020). The Alqueva multi-purpose water system was established in the region in 2002. Alqueva reservoir is the key infrastructure of this system. It is the largest strategic water reserve in Europe and occupies an area of about 250 km² (EDIA, 2022). From the Alqueva dam and reservoir, a large-scale irrigation system was established in the region: the Alqueva Irrigation System (AIS), which increased agricultural practices in the area. Hence, the main objective of this work is to analyze the impacts of the Alqueva irrigation system on the salinity of the underlying Gabros de Beja aquifer system (GBAS). The research results will be used to estimate and generalize the impacts of large-scale irrigation on groundwater quality.

Study area

GBAS is an unconfined hard rock aquifer, mostly porous and fractured, encompassing an area of around 350 km² (Paralta et al., 2003). The aquifer presents a median thickness of 26 m and can be divided into a superficial weathered layer with double porosity and an intermediate fractured layer above the bedrock (Duque & Almeida, 2001). The topography varies from 31 to 292 m above sea level. The recharge occurs preferably in the southern part, mainly formed by shales and sandstone formations (Fig. 1), standing by 8.3% of annual precipitation (Paralta et al., 2005).

Methodology

Mann-Kendall trend test was used for trends' identification and quantification, using a confidence interval of 95%. 26 observation points were selected with semiannual chloride concentration data from 2002 to 2021 available at SNIRH (2022).

Results

The chlorite trend results are spatially presented in Fig. 1, with the lithology and AIS schemes in the background. Fourteen wells presented a positive trend, 11 had no significant trend, and only one (SLO2) presented a negative trend. The general positive trend of chloride indicated that significant salinization is happening in GBAS. Generally, the wells that presented a positive chloride trend were located within either AIS boundaries or in areas with LULC classified as receiving irrigation. The wells that presented no and negative chloride trends are located outside the irrigated area. This pattern indicates that this salinization in GBAS might be related to irrigation.

Discussion and conclusions

The MK trend test results confirmed that GBAS presented a general increase in salinization since the AIS implementation. Salinization is an expected result of large-scale irrigation implementation in arid and semiarid areas without adequate drainage (Tomaz et al., 2020) due to evaporative effects and fertilization. Moreover, chloride can also have a geogenic origin related to the lithology since shale formations present mainly in the recharge area have high

chloride concentrations due to their geological processes of formation. Thus, this geogenic and anthropogenic influence might explain the increasing salinization of groundwaters in the region. Therefore this study enhances the discussion about soil and groundwater salinization in the area and concludes

that mitigation measures need to be implemented since the salinization may pose a limitation for agriculture in the area.

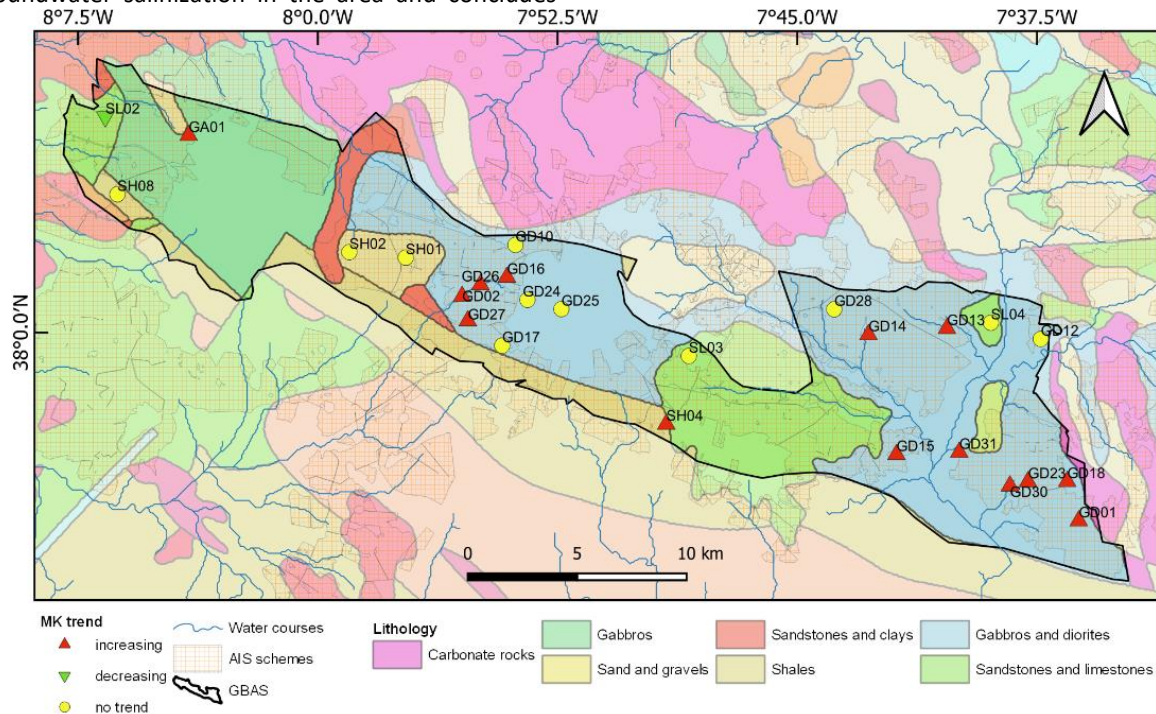


Fig. 1. Spatial distribution of chloride groundwater concentration trends from 2002 to 2021 with AIS schemes limits and lithology

Acknowledgments: We would like to thank the European Commission for funding a 2-year Erasmus Mundus scholarship for following the Joint Master Degree Programme on Groundwater and Global Change—Impacts and Adaptation (acronym GroundwatCh), the AQUADAPT project: Climate change-proof riverine ecosystems for sustainable management, supported by Fundação La Caixa in collaboration with BPI and Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) (Promove, refª PD20-00008), and the Civil Engineering Research And Innovation For Sustainability (CERIS) of Instituto Superior Técnico.

References

- Duque, J., & Almeida, C. (2001). Nitrate contamination in a shallow gabbro hard rock aquifer (Beja-South Portugal). In K. P. Seiler & S. Wohnlich (Eds.), Conference: New Approaches Characterizing Groundwater Flow (pp. 1169–1173). Lisse, Abingdon, Exton, Tokyo.
- EDIA (2022). Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A. <https://www.edia.pt/en/>
- Fraga, H., Pinto, J. G., & Santos, J. A. (2020). Olive tree irrigation as a climate change adaptation measure in Alentejo, Portugal. *Agricultural Water Management*, 237, 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2020.106193>
- Paralta, E. A., Oliveira, M. M., Lubczynski, M. W., & Ribeiro, L. F. (2003). Avaliação da Recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja Segundo Critérios Múltiplos-Disponibilidades Hídricas e Implicações Agro-Ambientais. 6ª Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos Dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Cabo Verde, 1–16.
- Paralta, E., & Oliveira, M. (2005). Assessing and modelling hard rock aquifer recharge based on complementary methodologies: a case study in the Gabbros of Beja Aquifer System, South Portugal. 2nd Workshop of the Iberian Regional Working Group on Hardrock Hydrogeology, Évora, 1–15.
- SNIRH. (2022). SNIRH: Dados de Base. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, Portugal. <https://snirh.apambiente.pt/>
- Tomaz, A., Palma, P., Fialho, S., Lima, A., Alvarenga, P., Potes, M., Costa, M. J., & Salgado, R. (2020). Risk assessment of irrigation-related soil salinization and sodification in mediterranean areas. *Water (Switzerland)*, 12(12), 1–22. <https://doi.org/10.3390/w12123>.

Contribuição de sondagens mecânicas e diagrfias para o estudo dos sistemas aquíferos multicamada transfronteiriços da bacia do Kalahari, Cunene, Angola

Contribution of deep boreholes and geophysical logging to the study of the transboundary multilayered aquifer systems of the Kalahari basin, Cunene, Angola

E. C. Ramalho (1), A. Francés (2), R. Martín Banda (3), T. Mateus (4), J. M. Llorente (3), A. Famosa (5), I. Cuervo (6), J. L. Lobón (3) e A. M. Victorino (5)

- (1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Portugal, elsa.ramalho@lneg.pt
- (2) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Portugal
- (3) Instituto Geológico y Minero de España, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IGME-CSIC)
- (4) União Temporária de Empresas (UTE), Instituto Superior Politécnico da Huila (ISPH) da Universidade Mandume Ya Ndemufayo (UMN), Governo da Província do Cunene, Angola
- (5) Instituto Geológico de Angola (IGEO), Universidade Agostinho Neto (UAN), Angola
- (6) Impulso Angola, Angola

Summary: *Within the scope of the PLANAGEO project, the assessment of the KOS and KOH transboundary multilayered aquifer systems, located in the province of Cunene, southern Angola, without significant hydrogeological research in the last 50 years, was conducted. The drilling location of 5 deep boreholes was selected after the processing and interpretation of legacy and recently acquired geophysical data within the scope of the project. The study of these boreholes comprises follow-up analysis of geophysical logging, aquifer parameters estimation, hydrochemical data of major and minor elements, isotopic analysis, and drilling cuttings analysis. They will become part of the near future monitoring network of the deep aquifer.*

Keywords: *Kalahari-Ohangwena aquifer system; Hydrogeophysics; aquifer monitoring; wells; geophysical logging*

Palavras-chave: Sistema aquífero Kalahari-Ohangwena; hidrogeofísica; monitorização do aquífero; furos; diagrfias

Os sistemas aquíferos multicamada transfronteiriços Kalahari-Ohangwena (KOH) e Oshana (KOS), localizados na província do Cunene no sul de Angola, podem vir no futuro a ser encarados como potenciais fontes de abastecimento de água a algumas populações rurais localizadas em regiões de difícil acesso, que sofrem de graves problemas com secas plurianuais e recorrentes. A informação existente acerca do KOS é escassa ou inexistente em profundidade, mas o KOH é constituído por 3 aquíferos principais, separados entre si por aquíferos argilosos com possanças que chegam a atingir dezenas de metros. Os aquíferos superficiais, KOS-0 e KOH-0, livres e com profundidades até cerca de 60 metros, têm recarga através da água da chuva; porém, esgotam na estação seca em áreas consideráveis, pelo que, apesar do seu fácil acesso por furos pouco profundos, em grande parte da província não constituem uma fonte de abastecimento permanente. O aquífero intermédio, a profundidades entre os 120 e os 170 m, contém água salobra que não pode ser considerada potável e precisa de dessalinização. Abaixo dos 200 m de profundidade, encontra-se o aquífero profundo, cuja água tem em geral boa qualidade química, mas que por outro lado, é um recurso com taxa de renovação muito baixa (Himmelsbach et al., 2018) e exige a construção de captações de água profundas de considerável

complexidade técnica. O estudo hidrogeológico desta área teve início na década de 1960, mas apenas recentemente foi retomado no âmbito do Plano Nacional de Geologia de Angola (PLANAGEO), incorporando informação da parte da Namíbia de Lindenmaier et al. (2014) e Himmelsbach et al. (2018), entre outros.

Além da compilação e integração em base de dados da informação obtida no âmbito do projeto PLANAGEO, na sequência do reprocessamento e interpretação preliminar dos dados dos trabalhos de prospeção geofísica (sondagens elétricas verticais – SEV) realizados na década de 1960 na província do Cunene (Fig. 1), foi criado um modelo quasi-3D de resistividade elétrica (Ramalho et al., 2023). Com base neste, foram planeadas novas campanhas de geofísica, desta vez com o método eletromagnético no domínio tempo (TDEM) (Fig. 1) (Francés et al., 2023). De acordo com os valores de resistividade elétrica obtidos quer a partir do modelo quasi-3D das SEV, quer dos modelos 2D do TDEM, tendo como referência os valores mencionados em Ramalho et al. (2023) assumidos para a possível existência do aquífero profundo, foram escolhidas as localizações de 5 furos profundos (Fig. 1) para confirmar a validade do modelo conceptual do KOH/KOS em Angola. Assim, dependendo da localização, a profundidade do nível aquífero profundo variou entre os 147 e os 300 m e a

localização dos respetivos tubos-ralos foi determinada com o recurso a diagrfias elétricas (SPR, Resistividade Normal 16" e 64" e SP), de radiação gama natural e da coluna de fluido (temperatura e condutividade do fluido), tendo igualmente sido estimada a condutividade elétrica da água nativa com o recurso à Lei de Archie. A interpretação das diagrfias elétricas e de radiação gama natural permitiu distinguir as zonas argilosas das areias contendo água muito mineralizada do aquífero intermédio e identificar a profundidade a partir da qual se encontra o aquífero profundo. Foram realizados ensaios de caudal e análises químicas de elementos maiores, traço e isotópicas. O soco rochoso não foi atingido nos furos F1 e F2, localizados na zona mais possante da bacia sedimentar, correspondente ao depocentro da mesma. Aqui, tal como em alguns furos

localizados na Namíbia próximos da fronteira com Angola, as diagrfias mostraram a interceção de alguns pequenos aquíferos cuja água aparentou ter características compatíveis com o aquífero intermédio, com mineralizações muito elevadas. O aquífero profundo apresenta na zona transmissividades muito baixas e águas essencialmente bicarbonatadas sódicas ou cloretadas sódicas, por vezes com características francamente salobras, sendo detetada uma bolsa de água doce no sector SE, que por sua vez confirma os trabalhos de Lindenmaier et al. (2014) e Himmelsbach et al. (2018). Estes furos farão parte de uma rede de monitorização dos sistemas aquíferos KOS e KOH, a implementar e estender num futuro próximo.

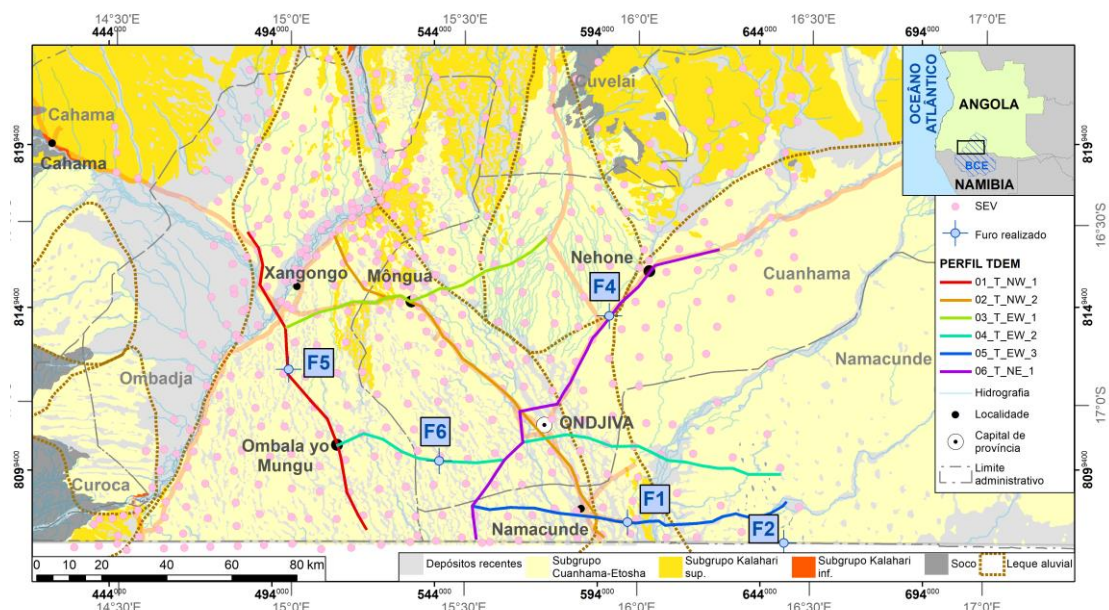


Fig. 1. Localização dos 5 furos realizados no âmbito do projeto PLANAGEO. Localização das SEVs de Ramalho et al. (2023) e das sondagens TDEM de Francés et al. (2023). BCE: Bacia do Cuvelai-Etoshá. Coordenadas geográficas: Camacupa. Coordenadas projetadas: Camacupa UTM zona 33S.

Agradecimentos: Na impossibilidade de agradecer a todos aqueles que colaboraram no projeto PLANAGEO, deixamos, no entanto, um agradecimento especial a A. Fernando e M. Tukongeni da UTE, e M. U. Mayer e R. Baumle, do Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

Referências

- Francés, A., Ramalho, E., Santos, F., Llorente, J. M., Mateus, T., Cuervo, I., Lobón, J., Dala, V., Ditutala, M., Victorino, A. M. (2023). Contribuição do método geofísico eletromagnético no domínio de tempo para o estudo do sistema aquífero multicamada transfronteiriço Kalahari-Ohangwena, Cunene, Angola. Resumos do XI CNG 2023.
- Himmelsbach, T., Beyer, M., Wallner, M., Grünberg, I., Houben, G. (2018). Deep, semi-fossil aquifers in southern Africa: A synthesis of hydrogeological investigations in northern Namibia. *Biodiversity & Ecology*, 6: 66-74. 10.7809/b-e.00306.
- Lindenmaier, F., Miller, R., Fenner, J., Christelis, G., Dill, H.G., Himmelsbach, T., Kauffhold, S., Lohe, C., Quinger, M., Schildknecht, F., Symons, G., Walzer, A., van Wyk, B. (2014). Structure and genesis of the Cubango Megafan in northern Namibia: implications for its hydrogeology. *Hydrogeology Journal*, 22: 1307-1328. <https://doi.org/10.1007/s10040-014-1141-1>.
- Ramalho, E. C, Francés, A., Monteiro Santos, F., Victorino, A. M. (2023). 3D electrical structure definition of aquifer systems in the Kalahari basin in Southern Angola based on legacy data reprocessing. *Journal of Applied Geophysics*, 211: 104968. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2023.104968>.

The influence of rural fires in surface water quality

A influencia dos incêndios rurais na qualidade de águas superficiais

M.D. Sequeira (1), P. Dinis (2), A. Castilho (3) and A.O. Tavares (1)

- (1) University of Coimbra, Centre for Social Studies, Department of Earth Sciences of the Faculty of Sciences and Technology, Coimbra, Portugal, mario.sequeira@uc.pt
- (2) University of Coimbra, MARE – Marine and Environmental Sciences Centre, Department of Earth Sciences of the Faculty of Sciences and Technology, Coimbra, Portugal
- (3) University of Coimbra, CGEO, Department of Earth Sciences of the Faculty of Sciences and Technology, Coimbra, Portugal

Sumário: Após os incêndios rurais que afetaram Portugal em 2017, foram realizadas nove campanhas de monitorização de águas superficiais, durante dois anos, em 10 cursos de água da bacia hidrográfica do Mondego. Os resultados foram analisados com características das bacias de captação e da precipitação para criar modelos de regressão para cada parâmetro da água. Observou-se que a precipitação introduz Al, NO₃ nas águas superficiais, aumentando a sua turbidez, tendo também um efeito de diluição. A geologia carbonatada tende a aumentar as concentrações de Ca e HCO₃ da água e sua alcalinidade, enquanto a ígnea teve influência no teor de As da água. O uso agrícola parece ser refletido no Cl, K, Na e condutividade elétrica das águas. A área artificial afetada pelo fogo foi a mais impactante na maioria dos modelos, parecendo ser responsáveis pela maior parte do As, NO₃, SO₄, Ca, K e Mg e, conseqüentemente, pela condutividade elétrica.

Palavras-chave: Fogos rurais, uso do solo, modelação de qualidade de água superficial

Key words: Rural fires, land use, surface water quality modelling

Understanding influences of surface water quality is key to an effective water management (Chen et al., 2018). Although water quality results from the interaction of multiple factors, land use and rural fires should be highlighted as major pressures. In this regard, this study aims at exploring the influence of land use and rural fires, and their interaction with other natural features on water quality.

To achieve this objective, 10 catchments were selected from the Mondego hydrological basin (Fig. 1), to be monitored during a two-year span after being affected by fire in October of 2017. The monitoring campaigns were monthly during the first year, until the dry period, and biannual in the second year (April and September). In each campaign, electric conductivity (EC), pH, turbidity (Turb) and alkalinity (Alk) of the surface water were measured, and samples were collected for major and minor ions analysis. The results were then statistically analyzed with the geomorphological, land-use and fire-affected characteristics of their respective catchment, as well as the precipitation data of the nearest weather stations. A Pearson correlation coefficient was used to determine statistically significant relationships between the independent variables and the water parameters. From these, regression analysis models were constructed for each water parameter, and

those related to fires were compared with their geochemical background (GB).

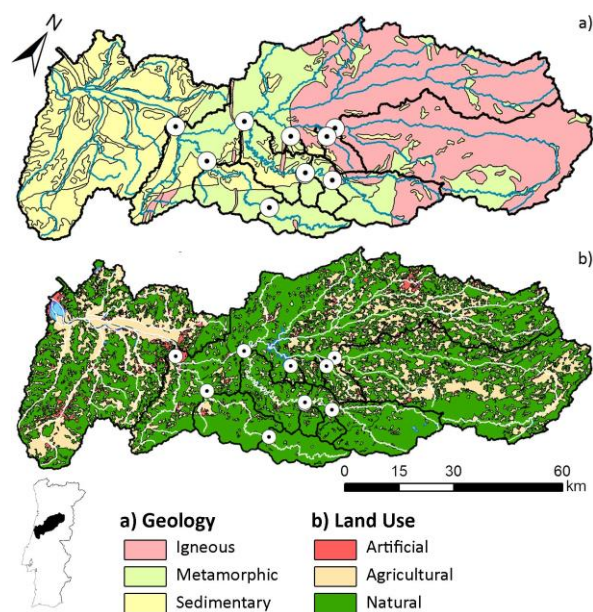


Fig. 1. The monitored catchments, and respective a) geology and b) land use, located within the Mondego Hydrological Basin.

Results show that precipitation increases Al, NO₃, and Turb in surface water in the short term by introducing sediments and chemical compounds (Table I), but

there is also a long-term dilution effect that decreases the pH (Huang et al., 2020).

The proportion of carbonate sedimentary units (SCrb) in catchments increases water Ca and HCO₃ concentration, alkalinity, while igneous outliers (Ign) may increase Arsenic content. Catchments with abundant metamorphic (Mtm) and clastic sedimentary (SCLt) units tend to have low water mineralization. Artificial areas (Art) did not affect water chemistry due to low representation or multicollinearity with SCrb. Agricultural areas (Agr) increase water Cl, K, Na, and electrical conductivity, likely due to chemical compound use and excessive soil remobilization (Reimann & Caritat, 1998).

The extension of fire-affected artificial areas (AArt) seemed to be the most impactful variable of the water quality, affecting As, NO₃, SO₄, Ca, Mg, K and electrical conductivity. Fires tend to influence the

availability of As in the environment, and can introduce As into watercourses especially through atmospheric deposition (Smith et al., 2011). It is noteworthy that As was 25 median absolute deviations (MAD) above GB 2 months after the fire. The combustion of organic matter releases high quantities of nitrogen species (e.g. NO₃) and SO₄ (Ferreira et al., 2005), while also leaving on the soil ashes enriched in Ca, Mg and K (Pereira et al., 2014). For these major ions, SO₄ and K reached 12.1 and 2.0 MAD respectively above the BG, one month after the fire, while Ca and Mg exceeded 8.5 and 5.4 MAD in the following month. NO₃ exceeded the BG in 8.4 MAD during March of the first year. In the absence of vegetation and under increased runoff, these major ions can be easily mobilized leading to major increases in electrical conductivity (Smith et al., 2011).

Table I. Results from the regression analysis. DV. Dependent variable; R. correlation coefficient; R². coefficient of determination; p. significance.

DV	Regression	R	R ²	p
EC	EC = 40.296 + 15.005 AArt + 1.85 Agr + 0.536 SCLt	0.683	0.467	0.000
pH	pH = 7.269 - 0.01 For - 0.003 P10	0.527	0.278	0.000
Turb	Turb = 7.158 + 0.119 P10	0.388	0.151	0.001
Alk	Alk = 11.590 + 0.294 SCrb + 0.123 P5 - 0.041 Mtm	0.584	0.341	0.000
Cl	Cl = 2.925 + 0.349 Agr	0.642	0.412	0.000
HCO ₃	HCO ₃ = 21.124 + 0.329 SCrb - 0.092 Mtm	0.463	0.215	0.000
NO ₃	NO ₃ = 3.329 + 1.499 AArt - 0.014 Mtm + 0.008 P10	0.704	0.495	0.000
SO ₄	SO ₄ = 8.145 + 1.339 AArt - 0.035 Mtm	0.575	0.331	0.000
Ca	Ca = 1.612 + 0.87 AArt + 0.089 SCrb + 0.046 SCLt + 0.027 Ign	0.764	0.584	0.000
K	K = 0.968 + 0.295 AArt + 0.028 Agr - 0.007 Mtm	0.775	0.601	0.000
Mg	Mg = 2.433 + 0.316 AArt + 0.016 SCLt - 0.011 Shv	0.524	0.274	0.000
Na	Na = 3.841 + 0.229 Agr	0.626	0.392	0.000
Al	Al = 18.652 + 1.749 P + 0.135 P10	0.568	0.323	0.000
As	As = 1.446 + 0.724 AArt + 0.034 Ign - 0.016 For	0.877	0.769	0.000

Acknowledgements: This research is part of the PhD project “Monitorização de águas superficiais para avaliação de forçadores de alteração de uso e ocupação do solo”, funded by the Portuguese Foundation for Science and Technology (2020.05101.BD), the UIDB/00073/2020 project, and the RiskAquaSoil project co-financed by the European Regional Development Fund (FEDER) through the Cooperation Program INTERREG Atlantic Area (EAPA_272/2016).

References

- Chen, Y., Feng, Y., Zhang, F., & Wang, L. (2018). Assessing water resources vulnerability by using a rough set cloud model: A case study of the Huai River Basin, China. *Entropy*, 21, 14. <https://doi.org/10.3390/e21010014>
- Ferreira, A.J., Coelho, C.O., Boulet, A.K., & Lopes, F.P. (2005). Temporal patterns of solute loss following wildfires in central Portugal. *Int. J. Wildland Fire*, 14, 401-412.
- Pereira, P., Ubeda, X., Martin, D., Mataix-Solera, J., Cerda, A., & Burguet, M. (2014). Wildfire effects on extractable elements in ash from a Pinus pinaster forest in Portugal. *Hydrol. Process.*, 28, 3681–3690.
- Huang, G., Hsu, T., Yu, C., Huang, J., & Lin, T. (2020). Dilution and precipitation dominated regulation of stream water chemistry of a volcanic watershed. *J. Hydrol.*, 583, 124564.
- Reimann, C., & Caritat, P. (1998). Chemical Elements in the Environment: Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist. Springer Science & Business Media.
- Smith, H.G., Sheridan, G.J., Lane, P.N., Nyman, P., & Haydon, S. (2011). Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply. *J. Hydrol.*, 396, 170–192.

Influência da seca severa em indicadores de águas superficiais

Influence of severe drought on surface water indicators

M.D. Sequeira (1), A.O. Tavares (1) e A. Castilho (2)

- (1) Universidade de Coimbra, Centro de Estudos Sociais, Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra, Portugal, mario.sequeira@uc.pt
 (2) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra, Portugal

Summary: Five surface water monitoring campaigns were conducted in the Mondego hydrological basin during the drought that affected Portugal in the hydrological year of 2021/2022. Sampling took place between March and November 2022. Measured water quality indicators were contrasted with a geochemical background created from open data. During the drought period, the water tends to become more alkaline, due to lower dilution and higher bicarbonate from groundwater waters, NO₂ concentrations kept increasing, exceeding the background; despite the low runoff, most minor ions were undetectable. In the following hydrological year, with high rainfall events, an increased turbidity was verified, with values above the background, NO₂ concentrations return to normal, and some of the minor ions (Al, As, Fe and Mn) were detectable, some passing the background in all watercourses.

Key words: Drought, surface water quality, physical chemical parameters, geochemical background

Palavras-chave: Seca, qualidade de água superficial, parâmetros físico-químicos, fundo geoquímico

As alterações climáticas têm vindo a tornar-se um motivo de preocupação em questões relacionadas com quantidade e qualidade da água (Qiu et al., 2023), tendo Portugal vivido, no ano hidrológico de 2021/2022, a pior seca desde 2005. Variações dos padrões de precipitação e evaporação, e aumento de eventos climáticos extremos têm impacte direto em vários indicadores de qualidade da água (Mishra et al., 2021). De forma a perceber quais os principais indicadores de qualidade das águas superficiais afetados pela seca portuguesa do ano hidrológico de 2021/2022 (Fig. 1), foram realizadas 5 campanhas de monitorização em 6 pontos de monitorização (MP) na bacia hidrográfica do Mondego (Fig. 2), para posterior comparação com dados abertos registados anteriormente.

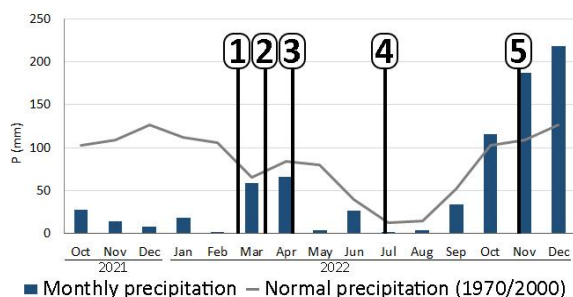


Fig. 1. Datas das campanhas, e precipitação mensal 2020/2021 (mm) comparada com a precipitação normal (1970/2000).

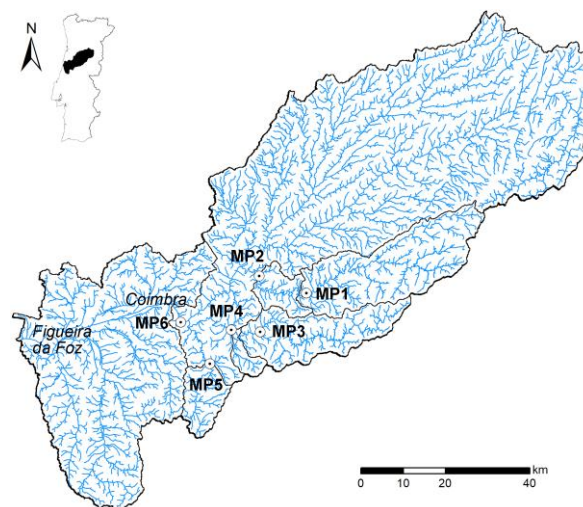


Fig. 2. Localização dos pontos de monitorização e delimitação das áreas de captação respetivas na bacia hidrográfica do Mondego.

As 3 primeiras campanhas de monitorização foram realizadas, com duas semanas de intervalo, a meio do ano hidrológico de 2021/2022, enquanto a quarta foi realizada durante o mês mais seco e uma quinta no início do segundo ano hidrológico (Fig. 1). Em cada campanha, foram medidos a condutividade elétrica (CE), o pH, a temperatura e a turbidez da água superficial e colhidas amostras para análise dos iões maiores (Br, Ca, Cl, K, Mg, Na, NO₂, NO₃, P₂O₅, Si e SO₄) e menores (Al, As, Br, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr).

Uma vez que a seca do ano hidrológico de 2021/2022 afetou todo o país, os resultados das campanhas de monitorização foram confrontados com um fundo geoquímico (FG), criado a partir de conjuntos de dados publicamente disponíveis, de estações da rede de monitorização da Agência Portuguesa do Ambiente, seguindo a metodologia sugerida em Sequeira et al. (2020).

Apesar de previamente ter sido reportada uma tendência de aumento da CE da água em período de seca (Li et al., 2018), esta só se verificou no curso de água com a menor área de captação e com maior área de uso agrícola. A maioria dos valores de pH da água durante o período de seca ficou acima do FG, o que pode estar relacionado a uma menor diluição e influência de bicarbonato proveniente de águas subterrâneas (Li et al., 2017). Ao contrário, a turbidez da água de superfície esteve acima do FG durante o período de elevada precipitação que decorreu em novembro. Enquanto o baixo/nulo escoamento superficial durante os períodos de seca é responsável por baixa turbidez (Mosley et al., 2012), a precipitação intensa posterior transporta sedimentos e nutrientes, levando ao aumento da turbidez (Sequeira et al., 2023).

No que toca aos iões principais, a maioria permaneceu dentro dos limites de FG. É de ressaltar, no entanto, que durante o período de seca, as concentrações de NO₂ continuaram a aumentar, ultrapassando o FG em várias estações. Embora a tendência seja para as concentrações de N e P serem baixas durante os períodos de seca, devido ao menor escoamento, concentrações mais altas de nitrato foram relatadas em águas superficiais com uso agrícola extensivo e influência de fluxos de sedimentos e azoto (Mosley, 2015). Uma bacia em particular, com a maior extensão de uso agrícola, também apresentou Ca, Cl, Mg e SO₄ acima de FG, embora essas condições se tenham mantido mesmo após a elevada precipitação de outubro e novembro.

No caso dos elementos menores, as concentrações de Al, As, Fe e Mn ficaram abaixo do FG durante o período de seca. Posteriormente, na campanha de novembro, em que a precipitação esteve acima do valor normal (1970/2000), as concentrações de Al e Fe superaram o FG em todos os pontos de monitorização e as de Mn excederam-no em MP2. O arsénio, no entanto, manteve-se entre os limites do FG.

Agradecimentos: Este estudo insere-se no projeto de doutoramento “Monitorização das águas superficiais para avaliar os motores da alteração do uso e ocupação do solo”, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (2020.05101.BD) e foi desenvolvido no âmbito do projeto RiskAquaSoil “Plano de gestão do risco atlântico na água e no solo” cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do Programa de Cooperação INTERREG Espaço Atlântico (EAPA_272/2016); e do projeto UIDB/00073/2020 financiado por fundos nacionais através da FCT.

Referências

- Li, S., Bush, R. T., Mao, R., Xiong, L., & Ye, C. (2017). Extreme drought causes distinct water acidification and eutrophication in the Lower Lakes (Lakes Alexandrina and Albert), Australia. *Journal of Hydrology*, 544, 133-146.
- Li, T., Li, S., Liang, C., Bush, R.T., Xiong, L., & Jiang, Y. (2018). A comparative assessment of Australia's Lower Lakes water quality under extreme drought and post-drought conditions using multivariate statistical techniques. *Journal of Cleaner Production*, 190, 1-11.
- Mishra, A., Alnahit, A., & Campbell, B. (2021). Impact of land uses, drought, flood, wildfire, and cascading events on water quality and microbial communities: A review and analysis. *Journal of Hydrology*, 596, 125707. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125707>
- Mosley, L. M., Zammit, B., Leyden, E., Heneker, T. M., Hipsey, M. R., Skinner, D., & Aldridge, K. T. (2012). The impact of extreme low flows on the water quality of the Lower Murray River and Lakes (South Australia). *Water Resources Management*, 26, 3923-3946.
- Mosley, L. M. (2015). Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. *Earth-Science Reviews*, 140, 203-214. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.11.010>
- Sequeira, M. D., Castilho, A. M., Dinis, P. A., & Tavares, A. O. (2020). Impact assessment and geochemical background analysis of surface water quality of catchments affected by the 2017 Portugal Wildfires. *Water*, 12(10), 2742. <https://doi.org/10.3390/w12102742>
- Sequeira, M. D., Castilho, A., Tavares, A. O., & Dinis, P. (2023). The Rural Fires of 2017 and Their Influences on Water Quality: An Assessment of Causes and Effects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 32. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010032>
- Qiu, J., Shen, Z., & Xie, H. (2023). Drought impacts on hydrology and water quality under climate change. *Science of the Total Environment*, 858(Pt 1), 159854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159854>

Salinização da água subterrânea nas ilhas Graciosa e do Pico (Açores, Portugal): cartografia de vulnerabilidade

Groundwater salinization in Graciosa and Pico islands (Azores, Portugal): vulnerability mapping

J. Virgílio Cruz (1,2), C. Andrade (2) e R. Coutinho (1,2)

- (1) FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal (jose.vm.cruz@uac.pt)
- (2) IVAR – Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal

Summary: In Graciosa and Pico islands, both located in the Central group of the Azores archipelago, groundwater resources are crucial to public water supply. However, the hydrogeological specificities of these islands favors the occurrence of salinization of coastal aquifers, and the quality of groundwater is severely impacted. As a result, one groundwater body on the island of Graciosa and two on the island of Pico, present a poor status according to the EU Water Framework Directive criteria. In the present study the GALDIT index was used to assess seawater intrusion vulnerability. Results show that in both islands the coastal strip up to a distance of 750 m from the coastline depict maximum vulnerability to the saline intrusion process, while vulnerability is moderate towards inland. Overall, the application of GALDIT highlights the high risk of salinization of groundwater resulting from seawater intrusion.

Key words: Coastal aquifers, groundwater salinization, vulnerability, Azores

Palavras-chave: Aquíferos costeiros, salinização, vulnerabilidade, Açores

As ilhas Graciosa e do Pico, ambas localizadas no grupo Central do arquipélago dos Açores, são totalmente dependentes de origens de água subterrânea para o abastecimento público, o que demonstra a importância estratégica dos recursos hídricos subterrâneos. Contudo, as especificidades hidrogeológicas destas ilhas favorecem a ocorrência da salinização de aquíferos costeiros, fenómeno que tem vindo a ser estudado nos últimos anos (e.g. Cruz & Andrade, 2017). O impacto da mistura com água do mar sobre a qualidade da água subterrânea é responsável por uma massa de água na ilha Graciosa e duas na ilha do Pico apresentarem um estado inferior a bom de acordo com os critérios da Lei da Água (AHA-DRA, 2015).

Para proceder-se à análise de risco de ocorrência de salinização em resultado da intrusão marinha recorreu-se ao índice GALDIT, que permite estimar a vulnerabilidade face ao referido processo com base em parâmetros hidrogeológicos (e.g. Lobo Ferreira et al., 2007). Este índice já foi utilizado em ilhas vulcânicas (e.g. Aunay & de Broch d'Hotelans, 2011).

O valor global do índice GALDIT é dado em função dos valores parciais atribuídos a um conjunto de seis parâmetros (tipo de aquífero; condutividade hidráulica; altura do nível de água acima do nível médio da água do mar; distância à linha de costa; impacto do estado atual da intrusão salina na região; espessura do aquífero), ponderados de acordo com a respetiva importância. Se os valores apurados para o índice

GALDIT são menores ou iguais a 2,5 a vulnerabilidade é reduzida, se estão entre 2,5 e 5 a vulnerabilidade é designada como moderada, e se são superiores ou iguais a 5 a vulnerabilidade é elevada.

Os resultados da aplicação deste método ao caso de estudo das ilhas Graciosa e do Pico, com base na informação hidrogeológica existente (Cruz & Silva, 2001; AHA-DRA, 2015), encontram-se sistematizados na Tabela I.

Nas Fig. 1 e 2 procedeu-se à representação espacial dos valores, excluindo no caso da ilha Graciosa a extremidade SE da ilha, área em que não foram delimitadas massas de água subterrânea e, como tal, onde não se espera que venham a ser efetuadas captações de água subterrânea para uso humano. Em ambos os casos, e para efeitos de representação gráfica, nomeadamente visando obter uma melhor separação das faixas 750-1000 m e superior a 1000 m de distância ao mar, em que o resultado final aponta para vulnerabilidade moderada, optou-se por usar a mesma cor, mas com transparência. No caso da ilha do Pico considerou-se uma faixa de 3000 m de distância máxima ao mar como limite interior, visto que não se espera que venham a ser perfuradas captações fora desta zona, na metade ocidental da ilha, enquanto na metade Este apenas se representou uma faixa até 1000 m.

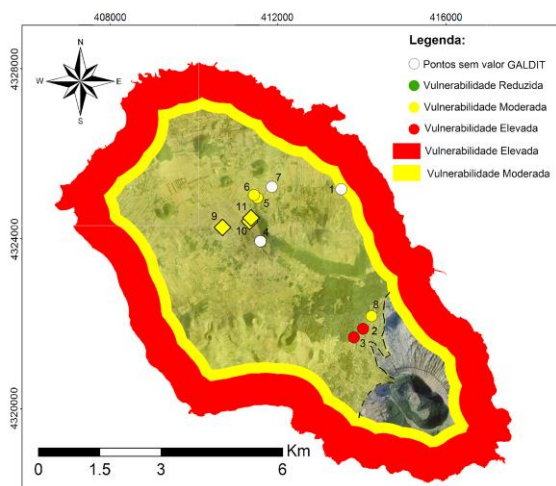


Fig. 1. Representação espacial dos valores de vulnerabilidade GALDIT na ilha Graciosa.

Os resultados obtidos evidenciam que em ambos os casos a faixa costeira até uma distância de 750 m da linha de costa tem vulnerabilidade máxima face ao processo de intrusão salina, enquanto para o interior a vulnerabilidade é moderada. Os resultados obtidos são

compatíveis na generalidade dos casos com os valores pontuais obtidos para os furos e poços de maré, com algumas exceções que se podem atribuir à influência da própria construção das captações, assim como realçam o risco elevado de salinização da água subterrânea nas ilhas do Pico e da Graciosa resultante de intrusão salina.

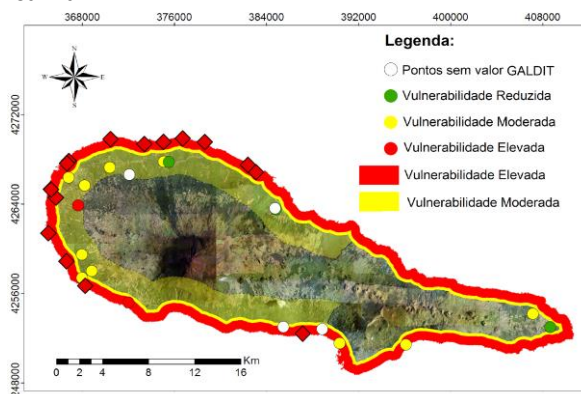


Fig. 2. Representação espacial dos valores de vulnerabilidade GALDIT na ilha do Pico.

Tabela I. Resultados do índice GALDIT na ilha Graciosa e do Pico.

Distância ao mar (m)	Parâmetros												Final	
	G		A		L		D		I		T			
	Gr a	Pi c	Gr a	Pi c	Gra a	Pic a	Gra a	Pic a	Gra a	Pic a	Gra a	Pic a	Gr a	Pic a
0 - 500	7,5	7,5	30	30	40	40	40	40	7,5	7,5	5	5	8,7	8,7
500 - 750	7,5	7,5	30	30	40	40	30	30	7,5	7,5	5	5	8,0	8,0
750 - 1000	7,5	7,5	30	30	40	30	20	20	7,5	7,5	5	5	7,3	6,7
> 1000	7,5	7,5	30	30	30	20	10	10	7,5	7,5	5	5	6,0	5,3

Referências

- AHA-DRA (2015). Plano de Gestão da Região Hidrográfica dos Açores - RH9. Versão para consulta pública. AHA-SRAM, Ponta Delgada.
- Aunay, B. & de Broch d'Hotelans, R. (2011). Montée du niveau marin induite par le changement climatique. Phase 1 – Diagnostic préalable aux conséquences sur l'intrusion saline dans les aquifères côtiers de La Réunion. Rapport finale. BRGM/RP-59049-FR. <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59049-FR.pdf>.
- Cruz, J.V. & Silva, M.O. (2001). Hydrogeologic framework of the Pico island (Azores, Portugal). Hydrogeology Journal, 9, 177-189.
- Cruz, J.V. & Andrade, C. (2017). Groundwater salinization in Graciosa and Pico islands (Azores archipelago, Portugal): processes and impacts. Journal of Hydrology: Regional Studies, 12, 69-87.
- Lobo Ferreira, J.P., Chachadi, A.G., Diamantino, C. & Henriques, M.J. (2007). Assessing aquifer vulnerability to seawater intrusion using GALDIT method: Part 1 - Application to the Portuguese Aquifer of Monte Gordo. Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability (Proceedings of the Fourth InterCeltic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources, Guimarães, Portugal, July 2005), IAHS Publ. 310, 161-171.

Escoamento de base em cursos de água nos Açores (Portugal): implicações para o cálculo das disponibilidades hídricas subterrâneas

Base flow in river systems from the Azores (Portugal): implications for the determination of available groundwater resources

J. Virgílio Cruz (1,2), C. Andrade (2) e R. Coutinho (1,2)

- (1) FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal (jose.vm.cruz@uac.pt)
- (2) IVAR – Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal

Summary: Hydrograph analysis allows to estimate baseflow, which corresponds to the volume of groundwater that contributes to the overall river flow. To estimate the baseflow in the permanent rivers in the Azores, a database of average daily flow recorded at the various hydrometric stations that make up the so-called Azores Hydrometeorological Network was studied using BFI+ v.s 3.0 software. Results obtained show that in most of the studied rivers base flow is relevant. In São Miguel Island baseflow ranges between 36% (Ribeira do Guilherme) and values higher than 80%. In Santa Maria base flow is on average approximately 48% of the overall flow in the only permanent river in the island. In Ribeira Grande river (Flores Island) baseflow ranges between 56% and 63%. These values also allow to validate the fraction of the groundwater resources considered as exploitable along the Azores River Basin Management Plan.

Key words: Base flow, river discharge, groundwater resources, Azores

Palavras-chave: Escoamento de base, escoamento fluvial, disponibilidades hídricas subterrâneas, Açores

A análise de hidrogramas é a abordagem mais usual para determinar a origem do escoamento fluvial, em particular quando se pretende discriminar os seus principais componentes (Deming, 2002; Fitts, 2002). O escoamento num curso de água natural compreende duas componentes principais (Lencastre & Franco, 1984): o escoamento direto, que equivale à precipitação útil sobre a bacia hidrográfica, e o escoamento de base, que corresponde ao volume de água subterrânea que contribui para o caudal fluvial, necessariamente após um determinado tempo de residência nos aquíferos.

A separação destes dois componentes do escoamento fluvial revela-se uma tarefa difícil, tendo sido desenvolvidas várias técnicas gráficas e numéricas (Kresic, 1997). No geral, o decréscimo do caudal segue um padrão característico, passível de ser representado por uma linha reta quando o escoamento é representado no hidrograma de acordo com uma escala logarítmica (Hipólito & Vaz, 2011, Kresic, 1997).

Por forma a estimar o escoamento de base nas massas de água subterrânea nos Açores, uma vez que estes constituem recursos hídricos subterrâneos não exploráveis, no âmbito do presente trabalho recolheram-se as observações de escoamento médio diário registadas nas várias estações hidrométricas que

compõem a Rede Hidrometeorológica dos Açores (Direção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos / Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas).

Com base nos dados disponíveis foram considerados períodos de duração variável, que sempre que possível abrangiam vários anos hidrológicos sucessivos, sendo usado o software BFI+ v.s 3.0 (Gregor, 2010) para estimar o escoamento de base diário ao longo destes intervalos de tempo (Fig. 1). Os resultados obtidos permitem constatar que na grande maioria dos cursos de água estudados o escoamento de base, com origem na água subterrânea, é relevante.

A distribuição geográfica das bacias hidrográficas correspondentes aos cursos de água para os quais foi determinado o escoamento de base encontra-se representada na Fig. 2, observando-se os valores médios mais elevados na ilha de São Miguel. Nesta última ilha, a fração do escoamento total atribuída ao escoamento de base nas estações hidrométricas localizadas mais a jusante em cada bacia hidrográfica varia em média entre 36% (Ribeira do Guilherme) e valores superiores a 80% (~82,5%; Ribeira Grande). A variabilidade observada resulta das condições hidrogeológicas locais, nomeadamente do número,

volume e comportamento hidrodinâmico dos aquíferos de altitude.

No geral, os valores mais elevados são apurados nas estações hidrométricas localizadas em troços da Ribeira Grande, na gama de valores entre 82% e 87%, bem como nas ribeiras de Água de Pau e da Praia, ambas no flanco S do mesmo vulcão, com valores respetivamente iguais a 68% e 78%.

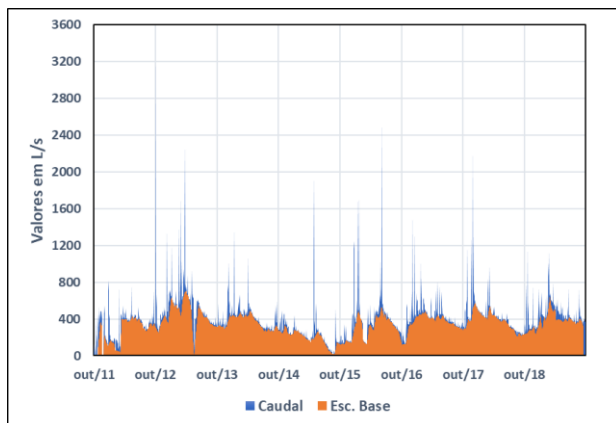


Fig. 1. Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Ribª Grande – São Miguel (OUT11-SET19).

Em Santa Maria, em particular na Ribeira de São Francisco, o único curso de água de regime permanente naquela ilha, o escoamento de base é em média aproximadamente 48% do escoamento total, valor superior ao verificado nos outros dois cursos de água estudados.

Na Ribeira Grande da ilha das Flores os valores nas duas estações hidrométricas localizadas nessa bacia variam entre 56% e 63%.

No Plano de Gestão de Região Hidrográfica dos Açores (PGRH-A) foi considerado que as disponibilidades subterrâneas exploráveis (*i.e.* as reservas aquíferas) correspondiam a 60% do volume global de recursos totais (*i.e.* a recarga anual), no intuito de reduzir a margem de erro associada ao cálculo do balanço

hídrico. Assim, este critério implica que o volume de água subterrânea considerado como não explorável (40% da recarga anual) terá de ser suficiente para explicar o escoamento de base, assim como a descarga subterrânea junto à linha de costa ou submarina.

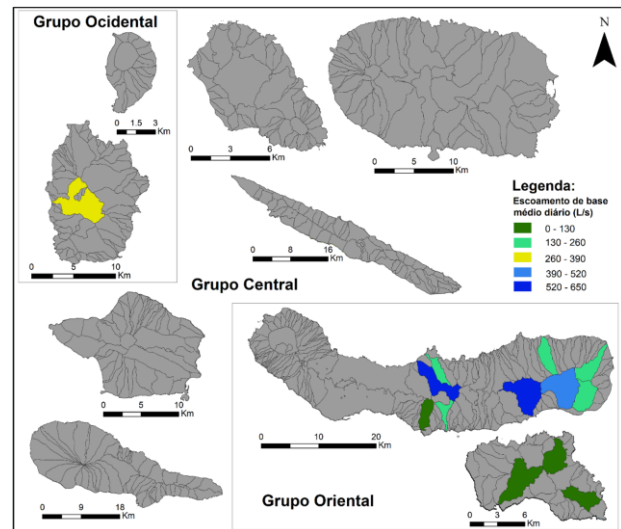


Fig. 2. Escoamento de base médio diário no Arquipélago dos Açores.

Neste contexto, por forma a aferir o critério proposto no PGRH-A, compararam-se os valores do volume de água subterrânea considerado como não explorável e do escoamento de base em cada massa de água subterrânea. Os resultados apurados, mostram que o volume de água subterrânea não explorável apenas é inferior ao escoamento de base no caso das massas de água subterrânea Água de Pau e Furnas – Povoação, ambas na ilha de São Miguel. Desta forma, sugere-se que o critério de 40% previamente adotado seja revisto em alta nestes casos, com a consequente redução das disponibilidades subterrâneas exploráveis.

A utilização de um intervalo de observações hidrométricas mais alargado poderá em futuros estudos possibilitar uma estimativa mais robusta do escoamento de base.

Referências

- Deming D. (2002). Introduction to hydrogeology. McGraw-Hill.
 Fitts, C.R. (2002). Groundwater science. Academic Press.
 Gregor, M. (2010). BFI+ 3.0. User's Manual. Hydro Office.
 Hipólito, J.R., & Vaz, A.C. (2011). Hidrologia e Recursos Hídricos. IST Press.
 Kresic, N. (1997). Hydrogeology and groundwater modelling. CRC Press.
 Lencastre, A., & Franco F.M. (1984). Lições de Hidrologia. Universidade Nova de Lisboa

Hydrogeological Characterization of Deltaic Deposits of Comoro River (Dili, Timor-Leste)

Caraterização Hidrogeológica dos Depósitos Deltaicos do Rio Comoro (Díli, Timor-Leste)

M. Ximenes (1,2), J. M. Azevedo (2,3), J. A. Pratas (2,4) and F. P. Figueiredo (2,4)

- (1) Instituto do Petróleo e Geologia (IPG), Timor-Leste - marcal.x@gmail.com
- (2) Universidade de Coimbra, FCTUC, DCT, jazevedo@dct.uc.pt
- (3) Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço-CITEUC
- (4) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências - CGUC

Sumário: As massas de água subterrânea que evoluem nos Depósitos Deltaicos do rio Comoro (DDC) são um recurso determinante para a cidade de Díli (capital de Timor-Leste). No entanto, a sobre-exploração e uma gestão deficiente constituem uma ameaça àquele recurso hídrico e implicam o desenvolvimento de mais estudos hidrogeológicos. O presente estudo baseia-se fortemente em dados geológicos e geofísicos. Genericamente o estudo demonstra que as unidades aquíferas são natureza siliciclástica intergranular, tendencialmente homogêneas e expressam produtividades muito variadas. As unidades com menor produtividade apresentam natureza cascalhento-arenosa mal calibrada, enquanto que as de melhor produtividade correspondem aos níveis de cascalho arenoso bem selecionado. As assimetrias na recarga do sistema aquífero e a heterogeneidade sedimentar dos DDC explicam a forte anisotropia e heterogeneidade hidrogeológicas do sistema aquífero. Mais estudos com abordagem multidisciplinar são necessários para garantir o uso sustentável das águas subterrâneas.

Palavras-chave: Depósitos deltaicos do Rio Comoro; Aquíferos porosos; Água subterrânea; Sustentabilidade ambiental

Keywords: Deltaic deposits of Comoro River; Porous aquifers; Groundwater; Environmental sustainability

The aquifer system associated to Comoro River Deltaic deposits - DDCAq - are the principal source of freshwater to the Timor-Leste capital Dili (Ximénes et al, 2018; Government of Timor-Leste 2020). The groundwater exploitation occurs directly by private wells and dug-wells, and indirectly via municipal wells of the waterworks system under the control of BEE Timor-Leste E.P. The present communication is inserted on a PhD project in progress which main objective is to define a hydrogeological model for Deltaic Deposits of Comoro aquifer system (DDCAq), as well as to contribute for understanding the groundwater hydrodynamics and hydrochemistry. The outcome of this project will give good insight and tools to help the police makers to control the environmental impacts associated to aquifers exploitation, and to anticipate and promote a long-term sustainable groundwater use.

Methodology

The study was strongly based on data interpretation from geophysical prospection - Electric Sounding (ES), Electric Resistivity Tomography (ERT) and from drilling campaigns and reports. The apparent resistivity data were inverted using Res2dinv software

(version 3.54) to create a 2-D model of the subsurface. The DDCAq hydrostratigraphy and the hydrogeological conceptual model were implemented by using Corel Draw and Paint 3D software.

Results

The first evidences point to a relatively hydrogeologic homogeneity in the central and western domains of the aquifer system, and a considerable heterogeneity in the eastern domains.

The DDCAq comprehends two types of aquifer units: low to medium productivity aquifers and medium to high productivity aquifers.

Aquifer units with low to medium productivity

These units are composed by sand and silty-sand, and express mostly a semi-confined regime because they are associated to aquitards. These units express a hydraulic conductivity of 4×10^{-4} to $4 \times 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$, and transmissivity ranges from 1×10^{-2} to $1.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$. The piezometric levels range from 7 to 12 m in the rainy season, and drops to 15 to 22 m in the dry season. The depth of boreholes and tube wells implanted in these aquifers ranges from 20 to 75 m. The groundwater discharge ranges from 1 to $\leq 5 \text{ L.s}^{-1}$

which could be considered as low to medium productivity. This group of low to medium productivity aquifers constitutes the Hydrogeologic domain of Hudi Laran.

Aquifer units with medium to high productivity

These aquifers are composed of siliciclastic layers with gravelly sand. They occur from the upper to the lower domains of DDC. Usually, they are associated to aquitards and aquicludes which correspond to thin and uncontinuous muddy and clay layers. These aquifer units occur in a domain with a thickness of 65 to 110 m.

The hydraulic conductivity ranges from 1.2×10^{-3} to $3.1 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, while the transmissivity ranges from 5×10^{-2} to $6.7 \times 10^{-2} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$; these values are typical of medium to high productivity aquifers. The groundwater pumping tests show discharge rates from 10 to 35

$\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$. The depth of the water table on the unconfined aquifers ranges from 0.2 to 1.3 m in the rainy season and 4.2 to 7.8 m in the dry season. The group of medium to high productivity aquifers constitutes the Hydrogeologic domain of Comoro.

Conclusions

The Hydrogeologic domain of Comoro has good potential for groundwater exploitation pointed for domestic and non-domestic utilizations, while the Hydrogeologic group of Hudi Laran should be exploited only for domestic needs or in shortage situations.

The hydrogeological characterization of DDCaq is fundamental for the understanding of the global groundwater quantity, quality and regime within the entire sedimentary platform of Dili and constitute a determinant tool for a correct water and environment management in the most populated region of Timor-Leste.

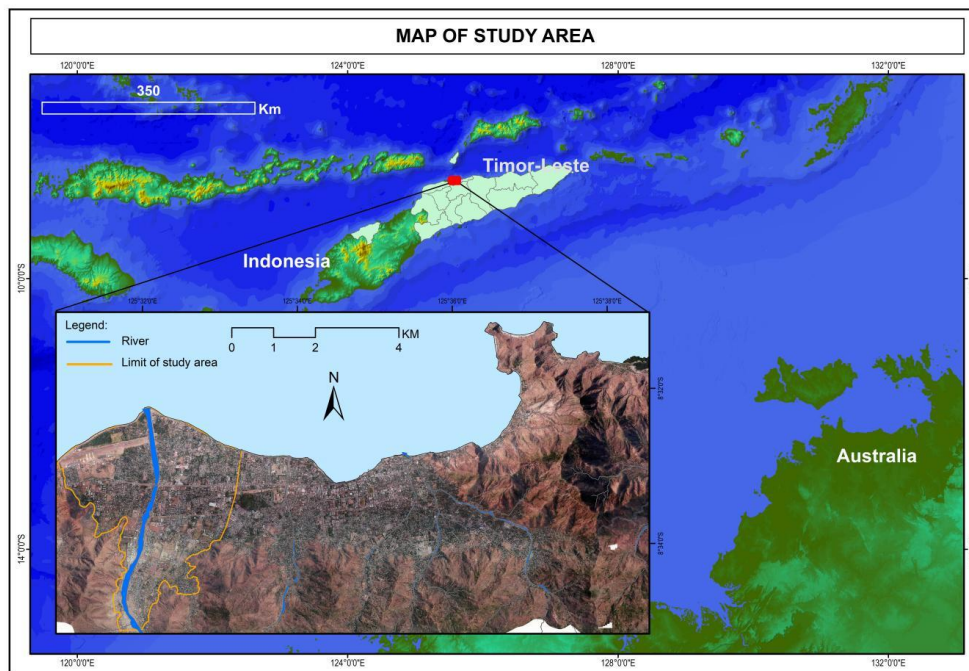


Fig. 1. Localization of de studied area – Deltaic Deposits of Comoro River (Timor-Leste).

Acknowledgments: To the Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences and Technology of University of Coimbra; to the Institute of Petroleum and Geology (IPG) of East-Timor; to the Faculty of Engineering, Sciences and Technology of Timor Lorosa'e Nacional University (UNTL) and to local drilling companies H₂O Unip. Lda, Mira Mar Unip. Lda., Geotechnical Unip. Lda and Grupu Fura Bee.

References

- Government of Timor-Leste (2020). Pre-feasibility Study of the Groundwater Resource Development Project for the Water Supply of Dili Metropolitan Area: Draft final Report. Team Consulting Group Ltd, ATT Consultants Company Ltd, CQ2 Engineering Consultancy Unipessoal Ltd, for the Government of Timor-Leste.
- Ximenes, M., Duffy, B., Faria, M. J. & Neely, K. (2018). Initial observations of water quality indicators in the unconfined shallow aquifer in Dili City, Timor-Leste: suggestions for its management. *Environ Earth Sci* 77, 711 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7902-8>.

Desenvolvimento de um modelo numérico em sistemas hidrogeológicos complexos: caso de estudo Montijo-Alcochete

Development of a numerical model in complex hydrogeological systems: case study Montijo-Alcochete

J. Zeferino (1) (2), M. R. Carvalho (1) (2) e M. Simões (3)

- (1) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa (FCUL) - jzeferino@fc.ul.pt
- (2) Instituto Dom Luiz (IDL), Universidade de Lisboa
- (3) Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa (FCT-UNL), GeoBioTec Polo da NOVA

Summary: *The Tejo-Sado/Margem Esquerda (T3) aquifer system is identified as being of great importance in supplying water in the Setúbal Peninsula. However, the complexity of the system and the anthropogenic pressure in the Montijo and Alcochete regions have caused problems in groundwater management. The aim of this study is to develop a numerical model that can assess the impact of water extractions and climate change on water resources. A total of 1463 water points were inventoried with information on lithologies, hydraulic parameters obtained from pumping tests, and data from field measurements of water levels and samples from 34 wells. The analysis of drilling logs focused on the depth at which carbonated sediments with organic material were crossed, thought to mark the Pliocene-Miocene transition. Time series of static and hydrodynamic levels were studied from 1960 to 2020 to interpret the hydraulic behavior of the system.*

Key words: Numerical modelling, hydrogeology, groundwater, Tejo-Sado basin, FEFLOW

Palavras-chave: Modelação numérica, hidrogeologia, águas subterrâneas, Bacia do Tejo-Sado, FEFLOW

O crescente acesso a grandes quantidades de informação e desenvolvimento tecnológico fez da modelação numérica de águas subterrâneas uma ferramenta muito útil na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. O recurso a modelos numéricos tem duas principais motivações: (1) compreender o funcionamento de um sistema hidrogeológico e (2) simular a sua resposta a alterações ao longo do tempo. No entanto, a aplicabilidade dos modelos numéricos é frequentemente questionada (Konikow & Bredehoeft, 1992; Voss, 2011). Sendo inimigos da complexidade e por definição uma simplificação de uma realidade incerta, nunca conseguirão descrever por completo os processos de um sistema natural (Simmons & Hunt, 2012).

O sistema aquífero Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda (T3), desenvolvido em formações sedimentares depositadas entre o Miocénico e a atualidade, é o sistema de maior dimensão do país e a única fonte de abastecimento de água à Península de Setúbal. Este sistema hidrogeológico é dotado de elevada complexidade estrutural, sendo caracterizado por diversas variações laterais e verticais de *fácies* que alteram significativamente o seu comportamento hidráulico (Simões, 1998). Os modelos conceptuais com maior aceitação descrevem o sistema com espessura média variável entre 200 e 300 m, composto por dois aquíferos: um desenvolvido em formações do Plio-

Quaternário e outro, mais profundo, do Mio-Pliocénico. Os aquíferos estão separados por um nível praticamente contínuo de lenticulas argilosas semipermeáveis e de espessura variável. No entanto, este modelo conceptual, desenvolvido à escala da Bacia, torna qualquer exercício de modelação, a uma escala maior, pouco objetivo e meramente teórico (Zeferino et al., 2022).

No extremo norte da Península de Setúbal localizam-se os concelhos Montijo e Alcochete, onde a pressão antrópica tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. O abastecimento público e industrial de água e a rega de espaços agrícolas estão suportados pela extração de água subterrânea no sistema aquífero, que produz rebaixamentos acentuados na superfície piezométrica. Para além da complexidade litoestratigráfica, a área faz interface com a água salgada do Estuário do Tejo e encontra-se perturbada pela zona de fratura Pinhal Novo-Alcochete, a qual altera significativamente as condições de escoamento subterrâneo.

O desenvolvimento de um modelo numérico de escoamento subterrâneo com o software FEFLOW, que permita avaliar os impactos nos recursos hídricos subterrâneos provocados pelas extrações e mudanças climáticas, constituiu o objetivo deste estudo. Para a construção do modelo numérico foram inventariados 1463 pontos de água, com informação sobre as

litologias atravessadas e captadas e parâmetros hidráulicos obtidos em ensaios de bombeamento. Os trabalhos de campo incluíram a medição de níveis freáticos e a amostragem de águas em 34 poços da região. Na análise dos *logs* de sondagem foi dada especial atenção à profundidade a que foram atravessados sedimentos carbonatados com material orgânico, que se pensa marcarem a transição Pliocénico-Miocénico. Foram estudadas séries temporais (1960-2020) de níveis hidroestáticos e

hidrodinâmicos para interpretar o comportamento hidráulico do sistema e, deste conjunto, foram selecionados dados representativos do estado atual dos aquíferos (Fig. 1). A definição das fronteiras, para este setor específico do sistema, teve em consideração zonas de alimentação lateral por fluxo imposto, barreiras hidráulicas no contacto com a zona de fratura e potencial hidráulico fixo no contacto com o estuário e outros cursos de água superficiais.

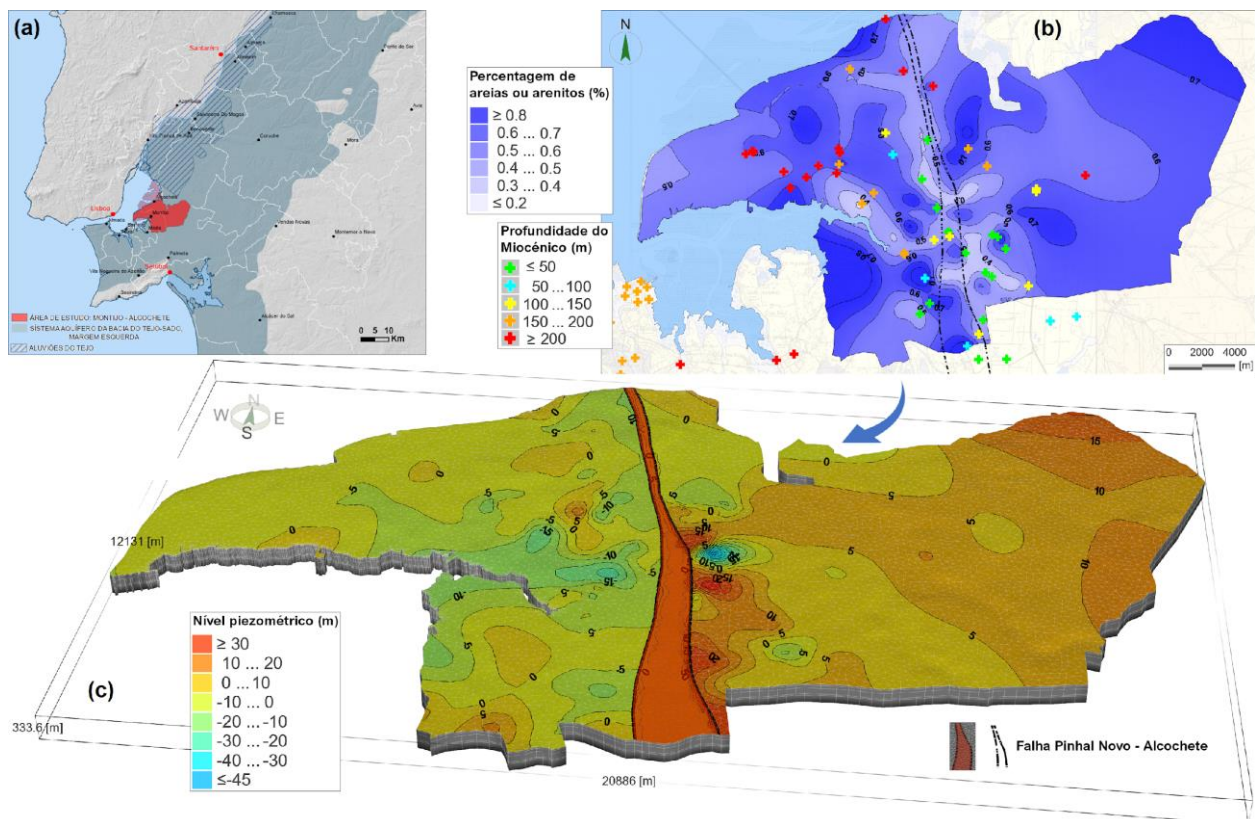


Fig. 1. (a) Enquadramento geográfico, (b) variação espacial do conteúdo em areias ou arenitos nas formações aquíferas captadas nos furos e a profundidade do topo do Miocénico, e (c) mapa piezométrico da área de estudo, Montijo-Alcochete.

Agradecimentos: Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) I.P./MCTES através do apoio (PIDDAC) – UIDB/50019/2020 e financiamento da Bolsa de Doutoramento (SFRH/BD/146769/2019).

Referências

- Konikow, L. F., & Bredehoeft, J. D. (1992). Ground-water models cannot be validated. *Advances in Water Resources*, 15(1), 75-83.
- Simmons, C. T., & Hunt, R. J. (2012). Updating the Debate on Model Complexity. *Geological Society of America Today*, 22(8), 28-29.
- Simões, M. M. (1998). *Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo*. Dissertação de doutoramento, Universidade Nova de Lisboa.
- Voss, C. I. (2011). Editor's message: Groundwater modeling fantasies - part 2, down to earth. *Hydrogeology Journal*, 19, 1455-1458.
- Zeferino, J., Paiva, M., Carvalho, M. R., Carvalho, J. M., & Almeida, C. (2022). Long term effectiveness of wellhead protection areas. *Water*, 14(7), 1063. <https://doi.org/10.3390/w14071063>.

SESSÃO CIENTÍFICA 13 (SC_13)
(Geologia Ambiental)

Conveners: Margarida Antunes; Carla Candeias; Alcides Pereira

Spatial variation of groundwater vulnerability to nitrate pollution in semi-arid area

Variação espacial da vulnerabilidade da água subterrânea à contaminação por nitratos numa região semiárida

B. Abdelkarim (1), I. M. Antunes (2) and B. Agoubi (3)

- (1) Institut Supérieur des Sciences et Techniques des Eaux de Gabès, Université de Gabès; LR: Applied Hydro-Sciences Laboratory Research Campus Universitaire, 6072 Zrig, Gabes, Tunisia; Institute of Earth Sciences, Pole of University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal; abdelbile92@gmail.com
- (2) Institute of Earth Sciences, Pole of University of Minho, Department of Earth Sciences, University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal
- (3) Institut Supérieur des Sciences et Techniques des Eaux de Gabès, Université de Gabès; LR: Applied Hydro-Sciences Laboratory Research Campus Universitaire, 6072 Zrig, Gabes, Tunisia

Sumário: A vulnerabilidade da água subterrânea da região de Gabes será determinada através da aplicação do Índice de Vulnerabilidade Específico (SVI). O índice de vulnerabilidade intrínseca (IVI) é, primeiramente, calculado através do método Index Overlay. Este índice considera a Profundidade do Aquífero, Precipitação, Litologia da zona vadosa e Declive. Cem amostras de água subterrânea foram recolhidas e registam um teor de NO_3^- superior a 50 mg L^{-1} . O índice SVI resulta da introdução de novos fatores – Uso do Solo e NO_3^- - no índice IVI. Na área de estudo, a distribuição espacial do índice IVI apresenta três classes de vulnerabilidade: baixa (15%), moderada (20%) e alta-muito alta (65%). A sobreposição de teores de NO_3^- e Uso do Solo mostra que cerca de 95% da área regista elevados níveis de SVI. Existe uma boa correlação entre o SVI e o teor de NO_3^- da água subterrânea, permitindo a discretização da vulnerabilidade da água subterrânea a partir de fontes naturais e antrópicas. Os resultados obtidos reforçam a necessidade de uma adequada gestão da água subterrânea e práticas agrícolas.

Palavras-chave: contaminação em nitratos, SVI, gestão da água, região de Gabes, Tunísia

Key words: nitrate contamination, SVI, water management, Gabes region, Tunísia

Water is a scarce and vital human resource. However, anthropogenic activities are continuously degrading environmental compartments. In Tunisia, groundwater resources are contaminated mainly by organic elements and elevated salinity levels. High nitrate groundwater concentration could be associated to natural and/or anthropogenic activities, such as pesticides and fertilizers on agricultural land (Abdelkarim et al., 2022a; Gomes et al., 2023).

The extension of agricultural land results in the urgent definition of specific and adequate groundwater protection actions to nitrate groundwater contamination (Antunes et al., 2019; Besser et al., 2021). The main vulnerability zones will be associated to the aquifer system vadose and saturated zones, the recharge net and soil type.

Gabes area is located in southeastern Tunisia (Fig.1), with a dominant Mediterranean climate. The annual average precipitation is about $200 \text{ mm}\cdot\text{year}^{-1}$ and with a dry and hot summer, and rainy winter (Missaoui et al., 2022; Abdelkarim et al., 2022b). The area is characterized by the absence of perennial rivers and the occurrence of heavy storms, might

enhance surface runoff discharge (Missaoui et al., 2022; Abdelkarim et al., 2022b). The watershed area is covered by Cretaceous deposits, representing the primary relief in the region, and Quaternary formations near the coast (Fig. 1).

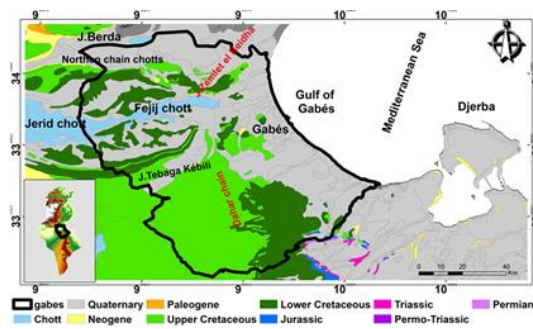


Fig.1. Geographical location of the study area.

Specific groundwater vulnerability assessment is a crucial tool for groundwater contamination management, particularly in agricultural areas (Missaoui et al., 2022). Land Use (LU) has a strong influence on nitrate content infiltration to groundwater. So, the Intrinsic vulnerability index (IVI) should consider the two components (Yj): nitrate (Y1

= NO_3^-) and land use ($Y_2 = \text{LU}$). These two criteria have been divided into numerous categories. A rating of equal to or less than 10 has been assigned to each class and for nitrate contents, between 1 to 10. Otherwise, LU considers the categories: uncultivated and urban areas, perennial crops, and irrigated areas. The final map is calculated considering the formula:

$$\text{SVI} = \frac{1}{k} \left(\text{IVI} + \sum_{j=1}^k Y_j/k \right)$$

Y_j – is the rating for the j^{th} factors (NO_3^- and LU); k – is the factor number.

The specific vulnerability assessment on the study area presents four SVI classes: low (15%), moderate (20%), high (35%) and very high (30%; Fig. 2). Previous studies used nitrate contents to validate

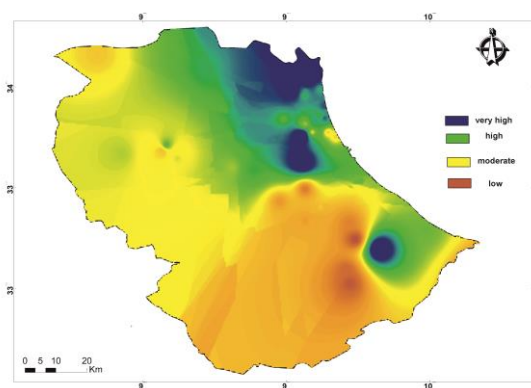


Fig. 2. SVI map from the study area.

vulnerability index obtained (Ncibi et al., 2020). In contrast, in this study, NO_3^- groundwater contents will be added as an-input factor for model simulation.

The most affected area is located near the coastal area, especially in the agricultural zone, due to the groundwater overexploitation and the chemical production (Fig. 2).

Long-term exposure to pesticides and fertilizers will cause different environmental risks, including health effects. Potentially toxic elements (e.g., cadmium, mercury, lead, arsenic, nickel, zinc) are considered the most abundant pollutants in agricultural and soil salinization areas (Fig. 3).

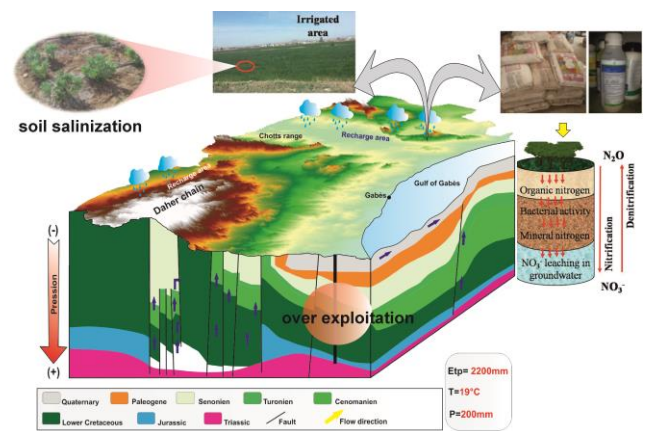


Fig. 3. Vulnerability conceptual model relatively to nitrate.

Acknowledgments: The authors are grateful to the Applied Hydrosciences Laboratory for laboratory analysis. This research was developed under the FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. program, through the project’s reference UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020.

References

Abdelkarim, B., Telahigue, F. & Agoubi, B. (2022a). Assessing and delineation of groundwater recharge areas in coastal arid area southern Tunisia. *Groundw Sustain Dev* 18, 100760. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100760>

Abdelkarim, B., Telahigue, F., Aaab, N., Boudabra, B. & Agoubi, B. (2022b). AHP and GIS for assessment of groundwater suitability for irrigation purpose in coastal-arid zone: Gabes region, southeastern Tunisia. *Environ Sci Pollut Res*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23193-4>

Missaoui, R., Abdelkarim, B., Ncibi, K., Hamed, Y., Choura, A., & Essalami, L. (2022). Assessment of groundwater vulnerability to nitrate contamination using an improved model in the Regueb Basin, Central Tunisia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(8), 320.

Antunes, M., Brás, A. & Marinho, P. (2019). Water Quality Indicators in River Basins—A Portuguese Case Study (Northern Portugal). In *Conference of the Arabian Journal of Geosciences*, Springer, 501-503.

Besser, H., & Hamed, Y. (2021). Environmental impacts of land management on the sustainability of natural resources in Oriental Erg Tunisia, North Africa. *Environment, Development and Sustainability*, 23(8), 11677-11705.

Gomes, E., Antunes, I. M. H. R., & Leitão, B. (2023). Groundwater management: Effectiveness of mitigation measures in nitrate vulnerable zones—a Portuguese case study. *Groundwater for Sustainable Development*, 100899.

Characterization of saline waters from Ria de Aveiro for potential use in SPA treatments

Caracterização de águas salinas da Ria de Aveiro para potencial uso em tratamentos de SPA

L. Almeida (1), F. Rocha (2) e C. Candeias (3)

- (1) GeoBioTec, Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal, larasralmeida@ua.pt
- (2) GeoBioTec, Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal
- (3) GeoBioTec, Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

Sumário: O presente estudo tem como objetivo caracterizar as águas de uma antiga salina da Ria de Aveiro e avaliar o seu uso em tratamentos de pele. Foram colhidas oito amostras de água em duas áreas distintas de um SPA salino ao ar livre, em diferentes estações climáticas. Os parâmetros físico-químicos da água revelaram um pH alcalino e elevada condutividade elétrica (CE), principalmente na área onde ocorre a produção de sal, como esperado. A análise química revelou enriquecimento em elementos potencialmente tóxicos (EPTs), nomeadamente Cu and Cr⁶⁺, nas amostras colhidas após obras de melhoramento. A análise do material total em suspensão por SEM-EDS revelou a presença de partículas de NaCl, microorganismos e partículas enriquecidas em EPTs. Estudos adicionais estão a ser conduzidos.

Palavras-chave: Águas salinas, tratamentos de SPA, EPTs, Ria de Aveiro

Key words: Saline waters, SPA treatments, PTEs, Ria de Aveiro

Introduction: The application of waters for medical treatments is an ancient practice with positive results by the use of saline waters, both on physical and mental health. The positive effects of saline water are widely known (e.g., skin thickness and inflammation reduction, immune processes regulation, and microcirculation improvement), whereby waters with higher salt concentration produce better hydration and are more comfortable on the skin. Recent studies have proven the successful use of saline balneotherapy in the treatment of skin and bone diseases. Khalilzadeh et al. (2019) suggested the effectiveness of using saline waters in skin psoriasis treatments, and Karagülle et al. (2017) showed antioxidant effect in patients with rheumatoid arthritis.

Study area: Marinha da Noeirinha SPA, a former Ria de Aveiro saltpan, located in Aveiro peri-urban area (Fig. 1), was recently adapted to an artificial SPA with two distinct areas. Area 1, a shallow limited artificial beach with tidal influence, is used for salted waters and mud application, while Area 2 is a recovered artificial saltpan, used for application of salts and salted waters in shallow ponds (Almeida et al., 2022).

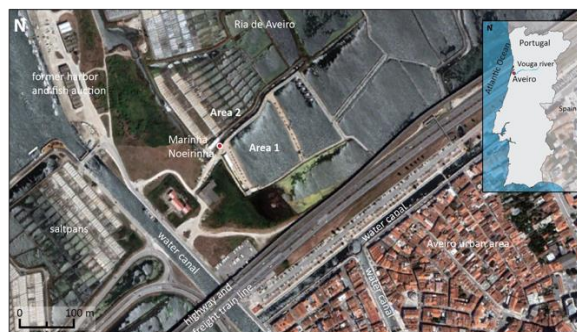


Fig. 1. Study area location (adapt. Google® maps, 2022).

During this study, improvement works occurred in Area 1, with inputs of allochthonous sand on the beach margins. Ria de Aveiro is a shallow coastal lagoon located on the NW Portuguese coast, belonging to the Aveiro Sedimentary Basin, deployed in the Lusitanian Basin, with a predominance of alluviums (Teixeira & Zbyszewski, 1976). Study area water quality was subject to degradation due to uncontrolled industrial direct discharges from the Estarreja Chemical Complex. For the present study, a total of eight saline water samples were collected in Areas 1 and 2, in different seasons of 2020 and 2021 (samples W1a, W2a₁, W2a₂, and W1b before beach recovery works and W1c, W2c, and W1d, W2d after).

Analytical techniques: Water physical parameters were determined *in situ*. In the laboratory, samples

were filtered, and total suspended matter (TSM) was calculated as $TSM = ([\text{clean filter} + \text{suspended load}] - \text{clean filter}) / \text{volume}$. Water chemical composition was obtained by visible light spectrophotometry. Filters were analyzed scanning electron microscope (SEM-EDS) at the University of Aveiro.

Results and Discussion: Water samples revealed alkaline pH (7.65 – 8.48), similar to waters studied by Hamidzadeh et al. (2017), and electrical conductivity (EC) ranging from 44.31 to 200 mS/cm. Highest EC values were recorded in samples from Area 2, as a result of higher salinity in these ponds. Area 2 samples presented higher TSM content (86 – 696 mg/L), than Area 1 (29 – 48 mg/L) as expected. SEM-EDS analysis of TSM revealed the presence of cubic NaCl particles deposited in other particles, reflecting the saline environments of the sampling areas (Fig. 2). These results are in agreement with sediment samples collected in same locations and temporal periods (Almeida et al., 2022), both by microorganisms and Potentially Toxic Elements (PTEs) enrichment. Water chemical analysis revealed Ca, and Zn maximum concentrations of 326, and 2.24 mg/L, respectively, indicating an enrichment in these

elements. Bromine, Fe, and I water concentration reached 0.13, 0.4, 0.09 mg/L, respectively, with higher values in Area 2. Calcium, and Cu, Fe, Zn concentrations were lower, and higher, respectively, when compared with Hamidzadeh et al. (2017) study. Results, according to the medicinal waters classifications was considered low (Ziemska et al., 2019), which inferred minimum I, Br, and Fe content of 1, 5, and 10 mg/L, respectively. Sample W2c, collected immediately after improvement works, showed a significative increase of Cu and Cr⁶⁺, which suggesting a possible PTEs enrichment (Cu, and Cr⁶⁺), and low Ca content.

Table 1. Elemental concentration of saline water samples (mg/L).

	W1a	W1b	W1c	W1d	W2a ₁	W2a ₂	W2c	W2d
Br	bdl	0.13	0.03	0.04	0.01	0.10	0.10	0.05
Ca	168	315	284	283	224	326	bdl	283
Cu	0.08	0.51	0.10	0.16	0.31	0.16	1.16	0.17
Cr^{VI}	0.007	0.010	0.003	0.005	0.050	0.003	0.218	0.053
Fe	0.03	0.08	0.08	0.08	0.04	0.09	0.08	0.03
I	bdl	0.1	bdl	0.1	0.4	bdl	0.3	bdl
Mn	0.2	0.4	0.3	0.2	0.6	0.3	0.5	0.2
Zn	1.68	2.15	1.89	1.92	2.17	2.24	1.53	2.14

bdl – below detection limit

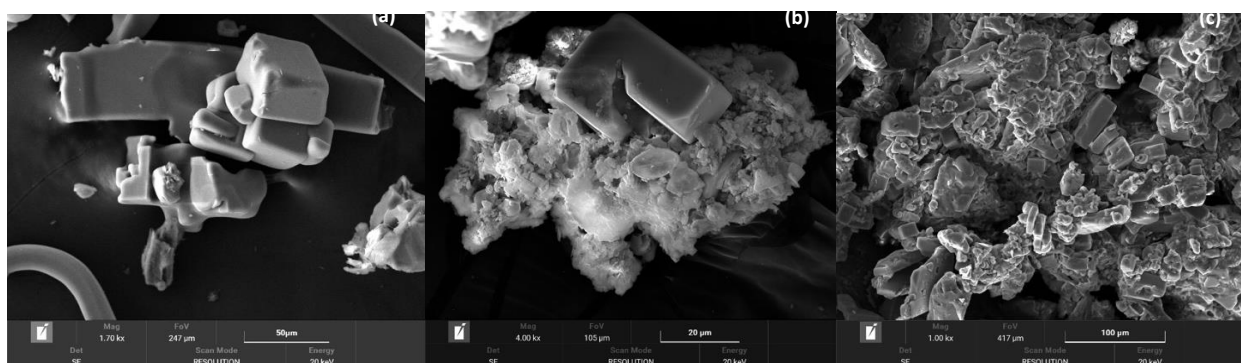


Fig. 2. Suspended matter from saline water samples: (a) salt cubic particles (NaCl); (b) salt particle deposited on an agglomerate of organic (e.g., diatom) and inorganic material (e.g., quartz and particles enriched in Al, Fe); (c) salt agglomerates associated with organic and inorganic material enriched in PTEs.

Acknowledgments: Authors are grateful to FCT for financial support to GeoBioTec RU (UIDB/04035/2020).

References

- Almeida, L., Candeias, C. & Rocha, F. (2022). Geochemical and mineralogical characterization of Ria de Aveiro (Portugal) saltpan sediments for pelotherapy application. *Environ Geochem Health*.
- Hamidzadeh, N., Simaetabar, S., Handjani, F., Ranjbar, S., Moghadam, M. & Parvizi, M. (2017). Composition of minerals and trace elements at Mamasani thermal source: A possible preventive treatment for some skin diseases. *J Educ Health Promot* 6, 110.
- Karagülle, M., Kardeş, S., Karagülle, O., Dişçi, R., Avcı, A., Durak, I. & Karagülle, M. (2017). Effect of SPA therapy with saline balneotherapy on oxidant/antioxidant status in patients with rheumatoid arthritis: a single-blind randomized controlled trial. *Int J Biometeorol* 61, 69-180.
- Khalizadeh, S, Shirbeigi, L, Naghizadeh, A., Mehriardestani, M., Shamohammadi, S. & Tabarrai, M. (2019). Use of mineral Waters in the treatment of psoriasis. *Dermatol Ther* 32, e12969.
- Teixeira, C., & Zbyszewski, G. (1976). Geological map of Portugal at scale 1:50000. Sheet 18-C - Aveiro. *Serviços Geológicos de Portugal*. Lisboa.
- Ziemska, J., Szydal, T., Mazańska, M. & Solecka, J. (2019). Natural medicinal resources and their therapeutic applications. *Rocz. Państw. Zakł Hig* 70, 407-413.

Otimização da fitominação de níquel com a espécie *Odontarrhena serpyllifolia* através de corretivos orgânicos

Organic amendments for improving nickel phytomining with the species *Odontarrhena serpyllifolia*

A. R. A. Alves (1), E. F. Silva (1) e L. A. B. Novo (2)

- (1) GeoBioTec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Portugal, ana.rita.alves@ua.pt
 (2) Scotland's Rural College, Edimburgo, Reino Unido

Summary: Phytomining uses plants to recover valuable metals from mineralized or polluted soils. The economic profitability of the process depends on increasing plant biomass and metal accumulation, which can be achieved through agronomic practices. The objective of this work was to enhance Ni phytomining with the species *Odontarrhena serpyllifolia* (endemic to the Trás-os-Montes ultramafic massifs, Portugal) through the application of organic amendments. Plant seeds and soils were collected from the Morais massif. Different biochar rates (1.5 and 3%) were added individually and jointly with sludge (1%) or slurry (1%). Plants grew in the laboratory under controlled conditions. Treatments combining biochar and sludge showed the best results, particularly with 3% biochar. This was attributed to the improvement of the soil properties. Slurry had a negative effect on plants due to its high salinity. A Ni phytomining system can generate an economic profit for local communities in ultramafic regions.

Key words: hyperaccumulator, ultramafic soils, *Alyssum serpyllifolium* subsp. lusitanicum, *Alyssum pintodasilvae*, agromining

Palavras-chave: hiperacumuladora, solos ultramáficos, *Alyssum serpyllifolium* subsp. lusitanicum, *Alyssum pintodasilvae*, agromineração

A fitominação usa plantas para recuperação de metais de solos mineralizados ou poluídos. As plantas utilizadas acumulam quantidades excecionais de metais nas suas partes aéreas (hiperacumuladoras) (van der Ent et al., 2013). As hiperacumuladoras de Ni (acumulam mais de 1000 mg kg⁻¹ de Ni) perfazem a maioria das espécies hiperacumuladoras identificadas e a sua ocorrência está associada aos solos derivados de rochas ultramáficas (Reeves et al., 2018). A procura de Ni, as extensas áreas ricas neste metal e o grande número de hiperacumuladoras, faz com que a fitominação de Ni seja particularmente interessante.

Em Portugal, as áreas ultramáficas são representadas pelos maciços de Bragança e Morais e albergam a hiperacumuladora de Ni endémica *Odontarrhena serpyllifolia* (anteriormente *Alyssum pintodasilvae*). O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação de corretivos orgânicos no rendimento de *O. serpyllifolia* nos solos de Morais, numa tentativa de otimizar o processo de fitominação.

Recolheram-se solos e sementes em Morais. Os corretivos usados foram 1.5 e 3% biochar (B1.5 e B3), 1% lodo industrial (SL) e 1% estrume de porco (PS). Os dois últimos foram testados conjuntamente com o biochar. Após germinação as plantas foram

transplantadas para vasos com os tratamentos e cresceram em laboratório sob condições controladas. Foi avaliado pH, condutividade elétrica, salinidade, matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiónica (CTC) e porosidade dos solos dos respetivos tratamentos. Determinaram-se as concentrações e biodisponibilidade (extrações DTPA) de elementos nos solos e concentrações nas plantas (raiz e partes aéreas) por Espectrometria de Massa por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS). A análise estatística (ANOVA) foi feita a partir de 5 réplicas.

Os solos de Morais apresentam pH quase neutro, baixa condutividade e MO, altas quantidades de Fe, Mg, Cr, Co, Ni e Mn e baixo teor em K, P e Ca. Estas características são típicas de solos derivados de rochas ultramáficas (Kidd et al., 2018).

A biomassa de *O. serpyllifolia* (Fig. 1) foi superior nos tratamentos com SL e inferior com PS em relação ao controlo (C). A concentração de Ni nas plantas (Fig. 2) foi significativamente superior no tratamento B3SL.

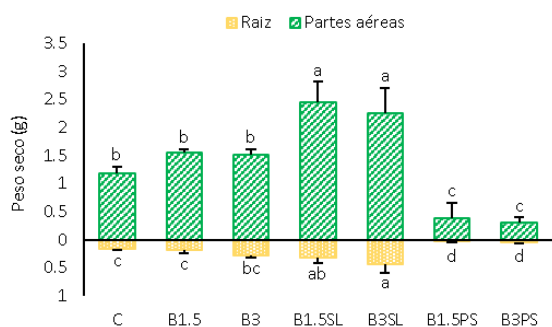


Fig. 1. Peso seco (g) de *O. serpyllifolia* nos diferentes tratamentos. Cada valor representa a média \pm desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas, $p < 0.05$.

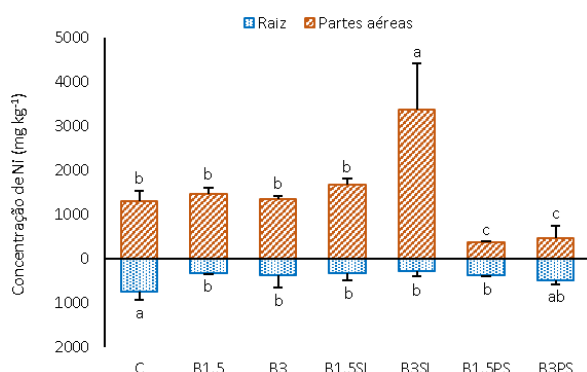


Fig. 2. Concentração de Ni (mg kg^{-1}) de *O. serpyllifolia* nos diferentes tratamentos. Cada valor representa a média \pm desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas, $p < 0.05$.

As análises permitem inferir que o efeito negativo no rendimento da planta em B1.5PS e B3PS se deve às elevadas concentrações de Na obtidas nesses

tratamentos, muito superiores às dos restantes. O PS foi o único corretivo em que foi detetada salinidade. A salinidade afeta globalmente a fertilidade dos solos e pode causar consideráveis impactos negativos (Hao & Chang, 2003).

B1.5 e B3 não levaram a um aumento significativo do rendimento da planta (tanto na produção de biomassa como acumulação em Ni). Apesar do incremento em nutrientes, o aumento do pH resultante da aplicação individual deste corretivo levou à redução da biodisponibilidade dos mesmos.

A adição conjunta de biochar e SL melhorou consideravelmente as propriedades dos solos, forneceu nutrientes às plantas (K, P, Cu e Zn) e aumentou a razão Ca:Mg (tipicamente baixa em solos ultramáficos). B3SL teve um efeito mais pronunciado na melhoria das propriedades dos solos em relação a B1.5SL. A maior eficiência da planta na acumulação de Ni em B3SL também se pode justificar pela menor biodisponibilidade de Fe e Zn neste tratamento (em relação a B1.5SL), elementos que podem competir com o Ni para absorção e acumulação pelas plantas. Os tratamentos B3SL e B1.5SL são promissores, especialmente o B3SL, apresentando uma quantidade coletável de Ni significativamente superior em relação ao C (maior rentabilidade da fitomineração). Um sistema de fitomineração nos solos ultramáficos de Trás-os-Montes tem o potencial de gerar retorno económico para as comunidades locais.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao grupo PROTECSOLS do Centro de Pesquisa em Aplicações Ecológicas e Florestais da Universidade Autónoma de Barcelona pelo fornecimento dos corretivos orgânicos e ao projeto PhytoSUDOE (PhytoSUDOE-SOE1/P5/E0189). Ana R. A. Alves agradece à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) pela bolsa de doutoramento 2021.04953.BD.

Referências

- Hao, X. & Chang, C. (2003). Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? *Agriculture Ecosystems & Environment*, 94(1), 89-103.
- Kidd, P. S., Bani A., Benizri E., Gonnelli, C., Hazotte, C., Kisser, J., Konstantinou, M., Kuppens, T., Kyrkas, D., Laubie, B., Malina, R., Morel, J.-L., Olcay, H., Pardo, T., Pons, M.-N., Prieto-Fernández, Á., Puschenreiter, M., Quintela-Sabarís, C., Ridard, C., ... Echevarria, G. (2018). Developing Sustainable Agromining Systems in Agricultural Ultramafic Soils for Nickel Recovery. *Frontiers in Environmental Science*, 6(June), 44.
- Reeves, R.D., Baker, A.J.M., Jaffré, T., Erskine, P.D., Echevarria, G., van der Ent, A., (2018). A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid trace elements. *New Phytologist*, 218, 407–411.
- van der Ent, A., Baker, A.J.M., Reeves, R.D., Pollard, A.J., Schat, H., (2013). Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: Facts and fiction. *Plant Soil*, 362, 319–334.

Water resources management in mining area – a case study on Xikrin-Cateté Indigenous Land (Amazonia, Brazil)

Gestão de recursos hídricos em áreas mineiras – um estudo de caso na Terra Indígena Xikrin-Cateté (Amazônia, Brasil)

I. M. H. R. Antunes (1) and H. Correa (1)

(1) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga; imantunes@dct.uminho.pt

Sumário: A bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas contém uma das áreas mineiras mais importantes do Brasil, com minas de Fe, Cu, Ni e Mn. O rio Cateté, pertence à bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, sendo o principal receptor dos efluentes mineiros. Este rio atravessa a área ocupada pela Comunidade Indígena Xikrin-Cateté na Amazônia (Brasil). Os rios são determinantes no posicionamento das comunidades indígenas, sendo a sua cultura fortemente dependente da água, com atividades que incluem a pesca e produção de alimentos, bem como, a utilização em atividades lúdicas e recreativas. A água do Rio Cateté é pouco mineralizada, com pH neutro, e elevadas concentrações de Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Zn e Pb. Alguns pontos de água estão contaminados, sendo imprópria para consumo humano e atividades agrícolas. A contaminação da água está principalmente associada às atividades mineiras, embora o Fe esteja também relacionado com o ambiente geológico e litologia.

Palavras-chave: Rio Cateté, atividade mineira, elementos potencialmente tóxicos, contaminação, saúde humana

Key words: Cateté river, mining activity, potentially toxic elements, contamination, human health

Brazil contains the largest volume of freshwater worldwide with about 12 % of water availability (ANA, 2020). Water resources are threatened not only by climate change scenarios but also by increasing levels of pollution, becoming a serious environmental problem on a global scale (Satapathy et al., 2009). Mining areas are an important challenge in the management of water resources due to environmental risk and human health concerns. Water resources management include water monitoring and potentially toxic elements (PTE) risk assessment, particularly within indigenous communities.

The Itacaiúnas River watershed is located in the Brazilian Amazonia, Northern Brazil, in the southern portion of the Amazonian Craton, southwest of the Carajás Mineral Province. This province is one of the most important metallogenic region in the world, containing Fe, Cu, Mn and Ni mines. The Cateté river occurs in this region, with an extension of 168.3 km and crossing the “Xikrin-Cateté Indigenous Land (XIL)” (Fig. 1). However, the Cateté River has a high vulnerability associated with the drainage of effluents from mining activities and water contamination will promote a severe influence on the culture, leisure, and health problems of the indigenous community.

The XIL of the Cateté River corresponds to a national reserve area, traditionally occupied by indigenous

communities, in an extension up to 438,000 ha, with a perimeter of 360 km and a population of 1183 inhabitants, called “Caiapó-Xikrin population” (ISA, 2020). This reserve's territory is surrounded by agricultural activities and a contrasting between pasture vegetation and dense forest. Rivers are the main determining factor on the human occupation and on the practice of indigenous culture, such as the natural human bathing, fishing activities and water management on indigenous food local production, as well as, on recreational activities (Correa, 2021). The indigenous community has been suffering severe impacts on cultural activities and health, mainly associated with surface water contamination.

A total of fourteen water samples were collected on the Cateté River around the area of Xikrin indigenous village (Fig. 1), to assess the influence of mine drainage. The physico-chemical water properties, including pH, Electrical Conductivity, Total Dissolved Solids (TDS) and selected PTE were determined, twice in a year, on the raining (January) and the dry season (June), respectively.

Most water samples have pH values ranging from 6.0-8.0, are poorly mineralized (TDS: 18 to 72 mg/L) and classified as Ca-Na-HCO₃⁻ type. The relation between TDS and major ions suggest that rock weathering is the dominant process controlling water composition (Correa et al., 2021).

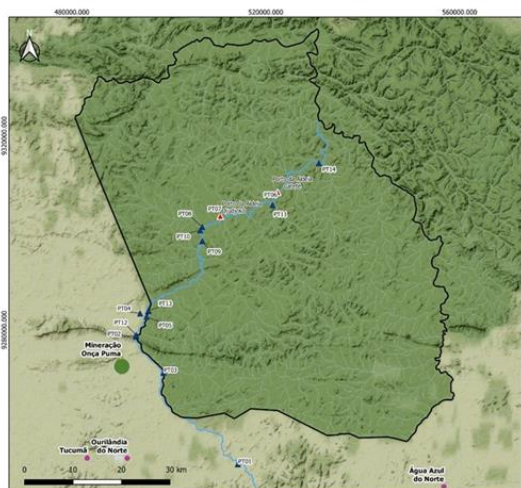


Fig. 1. Delimitation of Xikrin-Cateté Indigenous Land and sampling points in Cateté river (▲ – water; ▲ – river ports; ● – mine area; Correa, 2021).

PTE and TDS water contents were higher in the rainy than in the dry season. The water of the Cateté river presents Cr (≤ 0.09 mg/L), Fe (≤ 13.3 mg/L), Mn (≤ 1.78 mg/L), Ni (≤ 0.04 mg/L), Zn (≤ 0.5 mg/L), Cu (≤ 0.13 mg/L), Al (≤ 0.39 mg/L) and Pb (≤ 0.05 mg/L) contents. Generally, in the rainy period, there are higher Cr, Mn, Ni, Zn and Cu than in the dried period, which could be associated to the increase of surface water flow and the mobility of PTE from sediments to

water. The highest water Fe content was registered downstream the influence of mine activities, suggesting that is mainly associated with geological setting and lithology, but also influenced by mining activities. Some water points are contaminated with Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, and Zn, and cannot be used on human consumption and agricultural activities, according to CONAMA (2005). Cateté river water contamination is mainly associated with mine activities. The obtained results provided relevant information on PTE water contamination in an area from Itacaiúnas watershed, occupied by an indigenous community.

Although Fe and Ni mines are active, Fe and Mn water enrichment is also associated to geological conditions from the Amazonian region, and were reinforced by land use (Salomão et al., 2018).

The presented study reinforces the environmental and human health risks associated with mine activities and the relevant application of adequate preventive and monitoring methodologies. So, it will be a useful tool for environmental management authorities, to assess the impact of economic activities, like mining and agriculture, on water resources. The point out comes for the recognition to the relevance of Brazilian mining sector and the environmental, social, and economic impacts attributed to the mining extraction processes.

Acknowledgements: The authors acknowledge to Eran Paulo Rodrigues and Prof. Reginaldo Sabóia de Paiva from GTEMA/CNPQ/UFGA (Brazil) for the information and data provided and to FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., through the project's reference UIDB/04683/2020, UIDP/04683/2020.

References

- ANA (2020) Enquadramento – Bases Conceituais. Acessível em <http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx> [accessed on the 20th April 2021].
- CONAMA – Ministério do Meio Ambiente (2005) Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em <https://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>
- Correa, H.S. (2021). Avaliação da Qualidade da Água na Influência de Atividades Mineiras e seus Efeitos na Comunidade Indígena dos Xikrins do Rio Cateté (Pará, Brasil). Unpublished Ms Thesis, Univ. Minho (Braga, Portugal), 97 pp.
- Correa, H., Antunes, I.M.H.R., & Reis APM. (2021). Surface water on the influence of the Carajás Mineral Province (Brazil) – consequences to an indigenous community. Proceedings of the 14th IMWA Congress 2021: “*Mine Water Management for Future Generations*”, Stanley P, Wolkersdorfer Ch, Wolkersdorfer K (Eds), 97-102.
- ISA (2020). Terra Indígena Xikrin do Cateté. Acessível em <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3646>.
- Salomão, G.N., Agnol, R.D., Sahoo, P.K., Júnior, J.S.F., Silva, M.S., Souza Filho, P.W., Júnior, W.R.N., & Costa, M.F. (2018). Geochemical distribution and thresholds values determination of heavy metals in stream water in the sub-basins of Vermelho and Sororó rivers, Itacaiúnas River watershed, Eastern Amazon, Brazil. *Geochim Bras* 32, 179-197.
- Satapathy, D.R., Salve, P.R., & Kapatal, Y.B. (2009). Spatial distribution of metals in ground/surface waters in the Chandrapur district (Central India) and their plausible sources. *Environ Geol* 56: 1323-135. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1230-3>.

Influência dos rejeitos de uma mina de sulfuretos na qualidade da água de drenagem, 60 anos após o seu abandono: Caso de estudo no SW de Portugal

Influence of tailings from a sulfide mine on drainage water quality, 60 years after its abandonment. Case study in SW Portugal

J. Araújo (1), R. Fonseca (2), T. Albuquerque (3), N. Silva (1) e R. Silva (1)

- (1) Laboratório AmbiTerra, Universidade de Évora, Portugal. Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Portugal. Instituto de Ciências da Terra, Polo Évora, Portugal. jfaraujo@uevora.pt
- (2) Laboratório AmbiTerra, Universidade de Évora, Portugal. Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Portugal. Instituto de Ciências da Terra, Polo Évora, Portugal.
- (3) Instituto Politécnico de Castelo Branco, Portugal. Instituto de Ciências da Terra, Polo Évora, Portugal. CERNAS.

Summary: *The GeoMatRe project aims to find low-cost solutions for water and sediment rehabilitation using raw geomaterials, in abandoned mines of the Iberian Pyritic Belt. One of our case studies is the Caveira mine in southwestern Portugal, where large piles of mining waste, containing significant amounts of metals, record the long history of its exploitation for Au and Ag. After the exhaustion of its reserves, the extraction of the remaining metals (Cu, Pb, Zn) and S continued, until its abandonment during the 60s of XX century. This work has two objectives: (i) to study the influence of mine and mine tailings drainage on water quality by analyzing the dissolved and particulate material in drainage waters, and (ii) to determine whether there are differences in these waters according to the different climatic conditions of the last two winters. Therefore, we will conduct a new sampling campaign, which will allow us to make a comparative study.*

Key words: *Soluble metals, Sulfide mine, Caveira mine, Water quality*

Palavras-chave: Metais solúveis, Mina de sulfuretos, Mina de Caveira, Qualidade da água

O projeto GeoMatRe, financiado pela Fundação La Caixa, tem o objetivo de avaliar a eficácia da utilização de geomateriais na retenção de elementos potencialmente tóxicos, nos efluentes de minas abandonadas na Faixa Piritosa Ibérica (FPI). Um dos casos de estudo levado a cabo neste projeto, é a mina de sulfuretos polimetálicos de Caveira, localizada na região NW da FPI. A área da mina revela alguma complexidade geológica, caracterizando-se por uma estrutura em antifoma de orientação N-S. O núcleo é formado por filitos e quartzitos (Fameniano Médio-Sup.), e os flancos são constituídos por sequências sedimentares e vulcânicas do complexo vulcano-sedimentar (CVS). Na zona ocidental desta estrutura ocorrem sedimentos vulcanogénicos finos, e na zona oriental, xistos cloríticos, xistos negros e intercalações de chertes e jaspes. A N do antifoma, surgem intrusões de natureza básica e em ambos os flancos, ocorrem massas de sulfuretos, no contacto entre os vulcanitos inferiores do CVS e os xistos negros que marcam o limite do CVS com os filitos e quartzitos subjacentes (Matos & Martins, 2006). As mineralizações são essencialmente compostas por

pirite, com menor predominância de calcopirite, galena e esfalerite (Reis *et al.*, 2012). Além destas mineralizações, ocorrem ainda depósitos de Fe e Mn estratiformes e mineralizações filonianas de Cu, Sb, Pb e Ba. Apesar da sua pequena dimensão, a mina é dominada por uma importante escombreira, havendo diversas zonas de menor área com resíduos de natureza variada, estimados globalmente em 2 Mt (Mateus *et al.*, 2008; Reis *et al.*, 2012).

Esta mina foi explorada de forma intermitente, desde a ocupação romana, com foco para Au e Ag, até ao final dos anos 60 do século XX, nessa época mais centrada na exploração de Cu, S e pirite (Matos & Martins, 2006; Mateus *et al.*, 2008). Após o seu encerramento, a mina foi abandonada não tendo sido tomada qualquer medida para evitar a drenagem ácida (Reis *et al.*, 2012). A drenagem na mina de Caveira não é dispersiva, sendo que, todas as linhas de água nela originadas, convergem para a Ribeira de Grândola (Mateus *et al.*, 2008). A acentuada erosão que ocorre na escombreira principal da mina, permite a dispersão de metais como Cu, Pb, Zn, As, Mo, Se,

Cd, Fe e Hg nos sedimentos e águas superficiais (Matos & Martins, 2006).

Em fevereiro de 2022, foi realizada uma campanha de amostragem de águas superficiais e sedimentos, numa malha de amostragem com cerca de 1 Km². Um dos objetivos desta campanha centrou-se no estudo da influência dos rejeitos da mina, sobre a qualidade da água que os percola. Para tal, foram recolhidas um total de 18 amostras de água, tendo sido posteriormente analisadas em ICP-OES quanto ao teor de elementos dissolvidos e de material particulado. Para a análise de material particulado, as amostras de água necessitaram de ser previamente digeridas numa unidade de micro-ondas de alta pressão. Foi ainda realizada análise ao teor em sulfatos das amostras de água, em espectrofotómetro de absorção molecular, e de Hg, em um analisador de Hg. Para além destas análises, foram realizadas leituras de pH, turbidez e condutividade elétrica. Os dados obtidos em amostras sob a influência direta da mina, para Cu, Fe, Mn, Pb, Zn e As, em formas dissolvidas (Fig. 1) e particuladas, são superiores aos valores de referência, sendo classificados como “Extremamente Poluído”, segundo a tabela classificativa do INAG para cursos de água de superfície. Foram também determinados teores consideravelmente elevados para Co, Cr, Al e Hg. De um modo geral, o pH apresentou valores baixos para essas amostras, (mín. de 1,1, máx. de 6,2 e mediano de 3,3) e a condutividade atingiu valores elevados (máx. de 8250 µS/cm, mín. 156 µS/cm e mediano de 4761 µS/cm), tal como expectável. Valores bastantes elevados foram registados nos sulfatos, que atingiram um máximo de 6489 mg/L.

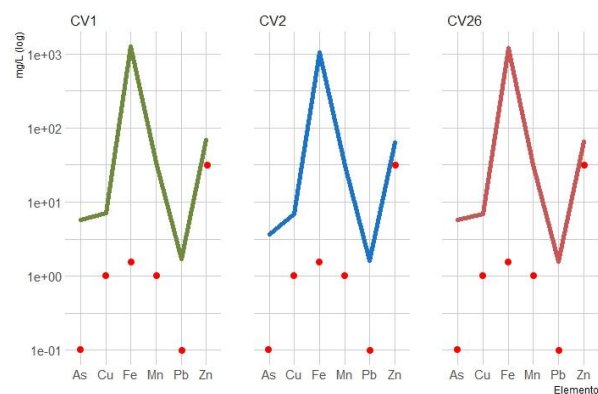


Fig. 7: Resultados de metais dissolvidos com valores acima da referência "Extremamente Poluído", sinalizada a vermelho para cada metal, segundo o INAG, em 3 amostras próximas da pilha de rejeitos.

Como seria esperado, os resultados preliminares vieram demonstrar que os rejeitos da mina têm uma forte influência negativa sobre a qualidade das águas circundantes, sendo refletida na elevada carga de metais potencialmente tóxicos, presentes quer na forma dissolvida, quer sob a forma particulada. Deste modo, parece tornar-se evidente a necessidade de uma intervenção de remediação ambiental de modo a possibilitar o controlo das descargas de efluentes ácidos para a Ribeira de Grândola. Como objetivo adicional pretendemos fazer um estudo comparativo da influência de diferentes condições hidroclimáticas na dispersão dos contaminantes. Assim, no final do mês de fevereiro de 2023, voltaremos a realizar uma nova campanha de amostragem, marcando o fim de um inverno consideravelmente mais chuvoso do que o anterior, sendo que os meses de novembro, dezembro e janeiro, registaram mais 91 mm de precipitação, relativamente a 2022, segundo os dados disponíveis no portal do SNIRH.

Agradecimentos: Os autores deste trabalho agradecem o apoio financeiro da Fundação La Caixa através do projeto "GeoMatRe: Remediação de massas de água afetadas por drenagem de mina" - PV20-00006 e do ICT, através do contrato com a FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia) - Projeto FCT—UIDB/04674/2020.

Referências

- Mateus, A., Figueiras, J. X., Matos, J., Abel Gonçalves, M., Lopes, R., Labaredas, J., & Beleque, A. (2008). Condicionantes impostas à dispersão de metais acumulados em escombrelas mineiras: o exemplo de Caveira (Faixa Piritosa Ibérica). In: P. M. Callapez, R. B. D. Rocha, J. F. Marques, L. S. D. Cunha, & P. M. Dinis (Eds.). A Terra: Conflitos e Ordem. Homenagem ao Professor Ferreira Soares. Museu Mineralógico e Geológico, 373-382.
- Matos, J. X., & Martins, L. P. (2006). Reabilitação ambiental de áreas mineiras do sector português da Faixa Piritosa Ibérica: estado da arte e prespectivas futuras. Boletín Geológico y Minero, 117, 2, 289-304.
- Reis, A. P., Ferreira da Silva, E., Cardoso Fonseca, E., Patinha, C., Barrosinho, C., & Matos, J. (2012). Environment al Assessment of the Caveira Abandoned Mine (Southern Portugal): Part1: Characterization of Metal Contaminated Soil. Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 21, 2, 227-254.
- SNIRH, Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (2023, fevereiro 8). Dados de Base [Página de Internet] <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>.

Copiapite group: occurrence and properties in mining contamination scenarios

Grupo da copiapite: modos de ocorrência e propriedades em ambientes de contaminação mineira

A. Barroso (1), T. Valente (1), I. M. Antunes (1) and A. P. Reis (1,2)

(1) University of Minho, Institute of Earth Sciences, Pole Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal, raquel.barroso65@gmail.com

(2) GEOBIOTEC, Campus Universitário de Santiago, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

Sumário: O grupo copiapite apresentou uma ampla gama de composições químicas, permitindo a identificação de várias fases minerais (por exemplo, aluminocopiapite e magnesiocopiapite). Esses minerais, normalmente observados em ambientes mineiros, são formados a partir da precipitação e evaporação da drenagem ácida da mina. Nessas áreas, a copiapite tem sido estudada para compreender a sua capacidade de adsorção de alguns elementos potencialmente tóxicos. O presente trabalho visa caracterizar amostras minerais de copiapite, utilizando diferentes técnicas, para entender a sua morfologia, composição mineralógica e química, bem como o seu papel ambiental.

Palavras-chave: Grupo da copiapite, Drenagem Ácida Mineira, morfologia, composição química.

Key words: Copiapite group, Acid Mine Drainage, morphology, chemical composition.

The copiapite group has been described with a general formula of $MFe_4^{3+}[SO_4]_6(OH)_2 \cdot 20H_2O$, where $M = Fe^{2+}, 2/3Fe^{3+}, 2/3Al^{3+}, Mg, Ca, Zn, Cu$ (Ogorodova et al. 2021). This variety of chemical composition results in the formation of several types of copiapite: ferro-, magnesio-, cupro-, alumino-, and zincocopiapite (IMA, 2023). Copiapite minerals are frequently found in nature, especially in mining contaminated environments, where the copiapite is observed as a product of the precipitation and evaporation of acid mine drainage (AMD) (Paramanick et al. 2021). A particular characteristic of these newly formed minerals is that they can adsorb potential toxic elements (PTE), playing a role in the environmental behavior of the mine wastes. For example, Nieva et al. (2021) observed that copiapite can be considered one of the most important temporary reservoirs of As due to its high solubility, which is released in the wet seasons. Therefore, the present work aims to characterize the variety of copiapite group, with different techniques, to understand their occurrence, properties, and occurrence variations in mining degraded systems.

Copiapite mineral samples were collected in different mining areas in Portuguese and Spanish sectors of Iberian Pyrite Belt and analyzed to obtain their morphology, mineralogical and chemical composition. In the field, this group occurs with distinct shapes: yellowish to greenish efflorescent coatings, scales, granular encrustations, or as gel (Fig. 1).

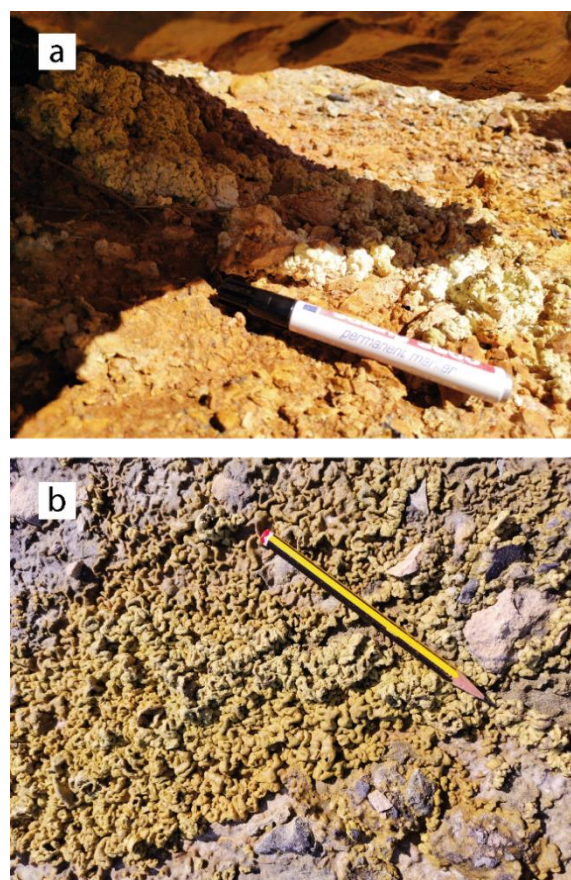


Fig. 1. - Different occurrences of copiapite: (a) yellowish granular encrustations, and (b) gel coatings

The mineral phases were confirmed by powder X-Ray diffraction (XRD) analysis; SEM-EDS and FTIR were

used for morphological and chemical characterization.

The XRD patterns show that the samples collected were aluminocopiapite and copiapite (Fig. 2a and b, respectively). Aluminocopiapite showed a rhombus plates (Fig. 2a), whereas copiapite presented a tabular shape (Fig.2b). The chemical composition analysis indicated slight differences between the

concentration of Al and the presence of Mg in the case of the aluminocopiapite. The methods used to characterize these samples did not show the presence of As or other potentially toxic elements. So, for future work, it will be essential to characterize the chemical composition with other techniques, to assess ability to retain PTE.

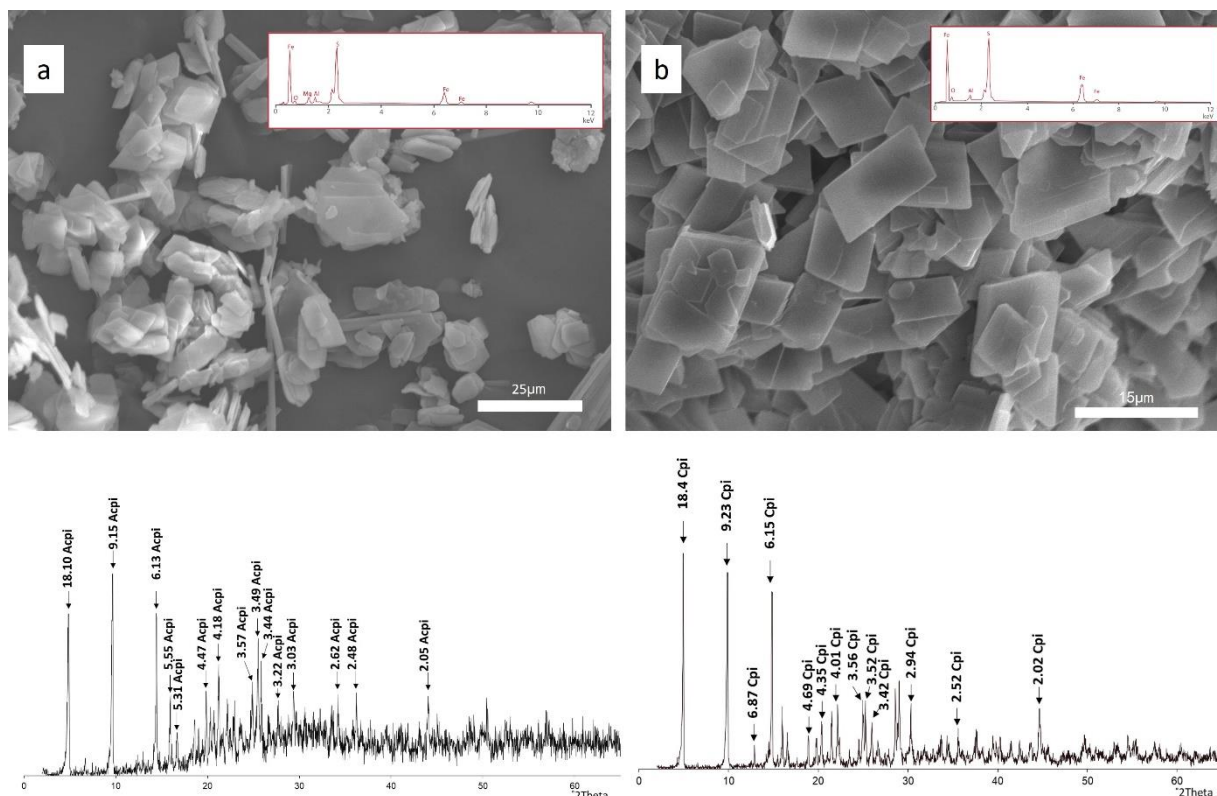


Fig. 2. SEM-EDX image with respective EDS spectra, and XRD pattern of copiapite samples collected in abandoned mining areas: encrustation (a) and gel coating (b).

Acknowledgments: Ana Barroso acknowledges FCT - Foundation for Science and Technology, I.P., by the support of ICT through the research fellowship with reference UI/BD/151330/2021. This work was also co-funded by FCT through projects UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020 and Nano-MINENV 029259 (PTDC/CTA-AMB/29259/2017).

References

- IMA - International Mineralogical Association, (2023). <http://cnmnc.units.it/>
- Nieva, N. E., Garcia, M. G., Borgnino, L., & Borda, L. G., (2021). The role of efflorescent salts associated with sulfide-rich mine wastes in the short-term cycling of arsenic: Insights from XRD, XAS, and μ -XRF studies. *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124158.
- Ogorodova, L. P., Gritsenko, Y. D., Vigasina, M. F., Kosova, D. A., Melchakova, L. V., Ksenofontov, D. A., & Dedushenko, S. K., (2021). Physicochemical and Calorimetric Study of Aluminocopiapite and Thermodynamic Properties of Copiapite-Group Minerals. *Geochemistry International*, 59(3), 333-340.
- Paramanick, S., Rajesh, V. J., Praveen, M. N., Sajinkumar, K. S., & Bhattacharya, S., (2021). Spectral and chemical characterization of Copiapite and Rozenite from Padinjaraathara in Wayanad, southern India: implications for Mars exploration. *Chemical Geology*, 575, 120043.

Metodologia para a avaliação do risco de contaminação de solos por atividade industrial em meio urbano

Methodology for assessing the risk of soil contamination by industrial activity in urban areas

M. G. Brito (1), P. S. Caetano (1), A. Sanches (1) e C. Pinto (2)

(1) GeoBioTec – Pólo NOVA, Monte Caparica, Portugal, mgb@fct.unl.pt

(2) Câmara Municipal de Lisboa, Portugal

Summary: *The identification of urban sites where industrial activities could lead to the contamination of soil is a reference procedure for the assessment and management of the soil environmental status, functioning as a key tool for a sustainable urban planning and development. These sites, which represent themselves a threat to human health, pose a potential risk to contaminate the neighbouring areas, supposedly clean, depending on the physical and morphological characteristics of the local geological environment. This work presents a methodology based on historical site activity and local geological characteristics to assess urban sites with potentially contaminated soils, in a preliminary stage of diagnosis.*

Key words: *contaminated soil, potential risk, industrial activity, urban planning, GIS*

Palavras-chave: solo contaminado, risco potencial, atividade industrial, planeamento urbano, SIG

Introdução

A ocorrência de locais com solos potencialmente contaminados encontra-se frequentemente associada à tipologia das atividades neles desenvolvidas ou na sua vizinhança. Um dos primeiros levantamentos realizados a nível nacional inventariou cerca de 22344 locais potencialmente contaminados (Jorge, 1998), tendo sido posteriormente realizados outros estudos à escala do município, que serviram de orientação em projetos de planeamento urbano e municipal (Costa, *et al.*, 2000; Brito, *et al.*, 2003; Santos, 2018; Pinheiro, 2020). Não obstante os esforços em definir a melhor metodologia para a inventariação deste tipo de locais, estes estudos, além de não seguirem critérios e metodologias comuns (pré-definidas), não contemplam o risco de contaminação dos terrenos na vizinhança da origem da contaminação, situação esta que, a ocorrer, poderá constituir um risco para a saúde pública (Means, 1989), com encargos adicionais para o operador do local, ou mesmo, inviabilizar a sua requalificação.

Metodologia

O modelo de risco de contaminação aqui apresentado foi implementado em sistema de informação geográfica (SIG) e considerou a existência das seguintes três entidades (Petts *et al.*, 1997): *fonte - trajeto - alvo*. Considerou-se como *fonte*, ou origem da contaminação, os locais onde tenham sido

desenvolvidas atividades (atuais ou históricas) potencialmente contaminantes, ou seja, onde possam ter sido manuseados ou produzidos resíduos perigosos, ou com características de perigosidade, classificados em classes de perigosidade potencial (CP = 1 classe de perigosidade reduzida; CP = 2, moderada e CP = 3, elevada). Como trajeto, o meio geológico classificado em classes de suscetibilidade à contaminação (classe 3 – elevada; 2 – moderada; 1 – baixa), afetadas por intervalos de distância às fontes de contaminação (Tabela I). Como alvo, considerou-se como recetor primário o terreno (solos, substrato rochoso e águas subterrâneas) afetado por exposição direta à contaminação, classificado em classes de Risco (elevado – 3; moderado – 2; reduzido – 1; nulo – 0), consoante a distância à fonte de contaminação, a suscetibilidade do meio e a respetiva CP da fonte. A Fig. 1 apresenta, de forma esquemática, a influência de cada fonte F, classificada em classes de perigosidade potencial (CP de 1 a 3), sobre o meio geológico classificado em classes de suscetibilidade (B, M e E), traduzindo-se em valores de risco potencial na vizinhança dessa fonte.

Tabela I – Classes de distâncias de exposição a uma fonte de contaminação

Distancia máxima de exposição (m)		Classe Perigosidade da fonte (CP)		
		Elevada	moderada	reduzida
Classe de suscetibilidade do meio geológico		3	2	1
Elevada (E)	3	90	60	30
Moderada (M)	2	60	40	20
Baixa (B)	1	30	20	10

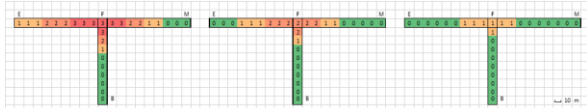


Fig. 1. Estimação teórica do risco potencial (0 a 3) em função da classe de perigosidade (1 a 3) da fonte (F), da suscetibilidade do meio geológico (B, M e E) e da distância à fonte (cada célula com 10m)

Na Fig. 2 apresentam-se, a título ilustrativo, situações de risco estimadas, para fontes com classe de perigosidade idêntica (classe máxima, CP = 3), que intersejam meios com diferentes classes de suscetibilidade geológica (E - elevada, M – média, B – baixa).

Conclusões

A suspeição de locais com solos que tenham estado em contacto, direto ou indireto, com uma fonte potencial de contaminação leva a que, antes de qualquer intervenção no terreno, seja necessário

proceder a uma avaliação do estado de qualidade ambiental do solo/subsolo a interencionar, com vista a implementar medidas de mitigação e de gestão do risco de exposição do recetor ao meio contaminado. A metodologia implementada serve de ferramenta de decisão e apoio ao ordenamento e planeamento do território no âmbito dos Planos Diretores Municipais, permitindo a atualização continuada da carta de risco de ocorrência de solos contaminados, com vista a acautelar situações de embargo ou cancelamento de obras em meio urbano.

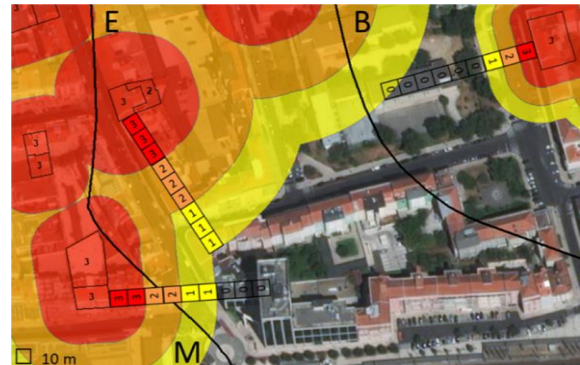


Fig. 2 Estimação teórica do risco potencial (0 a 3) em função da classe de perigosidade (1 a 3) da fonte (F), da suscetibilidade do meio geológico (B, M e E) e da distância à fonte (cada célula com 10m)

Agradecimentos: Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto GeoBioTec (UIDB/04035/2020). A. Sanches agradece à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal, a bolsa SFRH/BD/117613/2016.

Referências

- Brito, M.G., Costa, C.N., Avillez, G., Lopes, M., Vendas, D., Vargas, H. & Verdial, P.H. (2003). Aplicação de uma metodologia SIG na definição de um Plano Estratégico para a avaliação da contaminação de solos em ambiente urbano-industrial. *Finisterra*, XXXVIII, 75, 93-106.
- Costa, C.N; Brito, M.G.; Jesus-Rydy, C.; Rydy, S.; Avillez, G.; Lopes, M.; Hasse, P.; Vendas, D. & Vargas, H. (2001) . Plano Estratégico de Avaliação e Remediação da Contaminação dos Solos do Concelho do Seixal. Vol I e II, Relatório Técnico realizado para a Câmara Municipal do Seixal (abril, 2001), pp.280pp. + anexos. (não publico)
- Jorge, C. (1998) - Os Solos Contaminados - A Situação em Portugal (Estudo Preliminar). Rel. 73/98 – NP. Ministério do Equipamento, do Planeamento e a Administração o Território; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Geotecnia, Núcleo de Prospeção, Processos 054/17/12781 e 054/11/12755. Lisboa, março de 1998.
- Means, B. (1989). Risk-assessment guidance for Superfund. Volume 1. Human Health Evaluation Manual. Part A. Interim report (Final). Report no. EPA/540/1-89/002, United States Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Petts, J., Cairney, T. & Smith, M. (1997). Risk-Based Contaminated Land Investigation and Assessment. John Wiley & Sons, New York, 334 p.
- Pinheiro, M. D. (2020). Solos contaminados, riscos invisíveis: o ponto (possível) da situação nacional. In Gomes, C. A. & Lanceiro, R. T. (Coord.), *Actas do Colóquio Solos Contaminados, Riscos Invisíveis*, Instituto de Ciências Jurídico-Políticas, 7-42.
- Santos, S. L. (2018). Metodologia para a avaliação de locais potencialmente contaminados em ambiente urbano. Tese de Mestrado, FCT NOVA, 87 p. (não publico).

Chronic exposure to hydrothermal emissions as cause of respiratory impairment in wild mice

Exposição crónica a emissões hidrotermais como causa de problemas respiratórios em ratinhos selvagens

R. Camarinho (1,2), P. V. Garcia (1,3) and A. Rodrigues (1,2)

(1) Faculty of Sciences and Technology, University of the Azores, 9501-801 Ponta Delgada, Portugal, Ricardo.AD.Camarinho@uac.pt

(2) IVAR – Instituto de Vulcanologia e Avaliação de Riscos, University of the Azores, 9501-801 Ponta Delgada, Portugal

(3) CE3C – cE3c, Centre for Ecology, Evolution and Environmental Changes /Azorean Biodiversity Group, University of the Azores, 9501-801 Ponta Delgada, Azores, Portugal

Sumário: A exposição crónica a emissões hidrotermais causa alterações bronquiolares, remodelação estrutural pulmonar, assim como stress oxidativo e apoptose em ratos selvagens capturados em áreas de vulcanismo ativo.

Palavras-chave: Stress oxidative; *Mus musculus*; Poluição do ar; Emissões hidrotermais

Keywords: oxidative stress; *Mus musculus*; air pollution; hydrothermal emissions.

Recent studies have shown that exposure to hydrothermal emissions have a negative impact on the respiratory system (Camarinho et al., 2013; 2019). Still, volcanogenic air pollution studies are still outnumbered when compared to anthropogenic studies which can result in an unknown risk to the human populations living near active volcanic areas (Baxter et al., 1999; Hansell & Oppenheimer, 2004). This study was carried out in São Miguel Island, where active volcanic environments prevail, such as in the Furnas Volcano caldera complex. Volcanic secondary manifestations, as gaseous emissions and mineral water discharges, can explain the release of nearly 1000 T d⁻¹ of CO₂ along with H₂S, and the radioactive gas radon; metals [e.g. mercury (Hg), cadmium (Cd), copper (Cu), zinc (Zn)] and particulate matter that are also released in a daily basis (Viveiros et al., 2010).

We test the hypothesis whether chronic exposure to hydrothermal emissions alters the histomorphology of the bronchioles and terminal bronchioles, causes lung structural remodelling, and pulmonary oxidative stress, representing a health risk to humans inhabiting volcanically active areas (Fig. 1). To test this hypothesis, we used live-caught populations of the house mouse, *Mus musculus*, as surrogate species, in order to perform highly invasive tests that could never be performed in human populations. *M. musculus* were live-captured in the two volcanically active villages and one village without any type of volcanic activity (Fig. 1). The euthanization, necropsy and other procedures were carried out according to the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and Other Scientific Purposes (ETS 123), directive 2010/63/EU and also the Portuguese law decree (DL 113/2013).

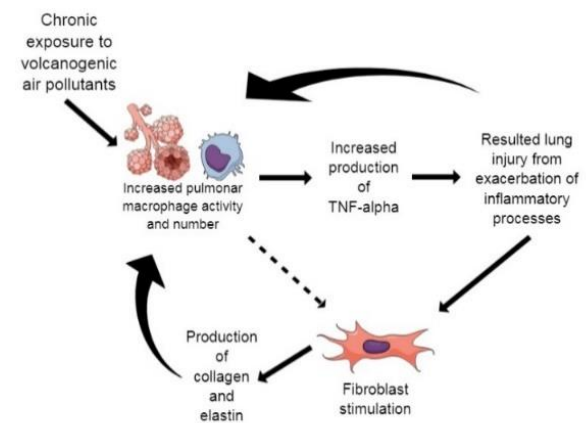


Fig. 1. Graphical abstract representative of the conceptual framework applied in part of this work.

After the necropsy, right and left lungs were extracted en-bloc and later separated, and fixed in 4% buffered formaldehyde for routine histological processing in order to produce the sets of histological slides needed to all the studies performed. The histomorphology of the bronchioles and of the terminal bronchioles were evaluated. Histopathological lung evaluations were performed to assess several pathophysiological parameters, the percentage of collagen and elastin fibers was calculated and the level of pulmonary oxidative stress and apoptosis were assessed. Mice chronically exposed to volcanogenic air pollution presented bronchioles with increased epithelial thickness, increased smooth muscle layer, increased submucosa thickness and increased peribronchiolar inflammation (Fig. 2), these set of changes that precede the pathological changes of the bronchi, are consistent with asthma. Also, the terminal bronchioles presented structural alterations consistent with bronchodysplasia.

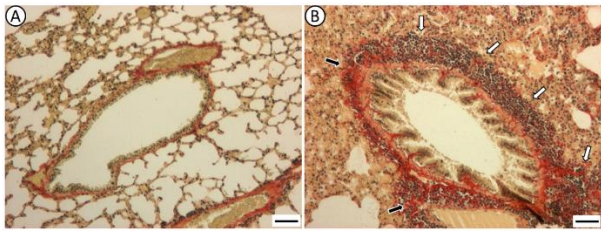


Fig 2. Bronchioles histochemistry of modified Picro-Sirius Red stain for collagen fibers of mice captured at the reference site of Rabo de Peixe (A) and the volcanogenic air polluted Furnas village (B). Peribronchiolar inflammation represented by white arrows, fibrosis of the submucosa represented by black arrows; scale bar = 50 μ m.

Regarding the lung portion analysed, the mice exposed to volcanogenic air pollution presented an increased score in the histopathological evaluations for the amount of macrophages, mononuclear leukocyte infiltrate, pulmonary emphysema and production of TNF- α , increased percentages of collagen and elastin (Fig. 3). All these factors suggest a lung structural remodelling and represent the healing/recovery attempt as response to the damage caused by the exposure to volcanogenic air pollution (Hiraiwa & Van Eeden, 2013; Mukhopadhyay et al., 2006). Also the increased collagen fibers could be representative of lung fibrosis interfering directly with the respiratory mechanics (Hu et al., 2017). Furthermore, the increased levels of oxidative stress and amount of apoptotic cells found can reflect the complex interactions between volcanogenic air pollutants and their ability to disrupt the normal respiratory functions.

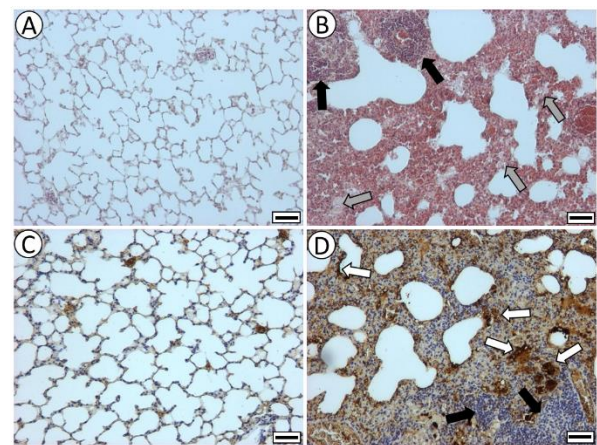


Fig. 3. Lung histopathology - Hematoxylin & Eosin (A,B) and TNF- α production (C,D) of mice captured at: A and C - reference site of Rabo de Peixe; B and D - volcanically active Furnas village. B and D - It is possible to observe increased alveoli size, vascular congestion and general inflammation. Extended inflammatory cell recruitment (Black arrows) and macrophages (Grey arrows); D - Extended pro-inflammatory cytokine TNF- α production (White arrows); scale bars = 50 μ m.

For the first time, we demonstrate that non-eruptive active volcanism has a high potential to cause bronchiolar and terminal bronchiolar structural alterations, lung structural remodelling and increased oxidative stress. This study also highlights the *Mus musculus* as a useful bioindicator for future biomonitoring programs in these types of volcanic environments.

Acknowledgements: The authors would like to thank Paulo Melo for the field assistance in the capture of *M. musculus*.

References

- Baxter, P.J., Baubron, J.C. & Coutinho, R. (1999). Health hazards and disaster potential of ground gas emissions at Furnas volcano, Sao Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92:95–106.
- Camarinho, R., Garcia, P.V. & Rodrigues, A.S. (2013). Chronic exposure to volcanogenic air pollution as cause of lung injury. *Environmental Pollution*, 181:24–30.
- Camarinho, R., Garcia, P.V., Choi, H. & Rodrigues, A.S. (2019). Overproduction of TNF- α and lung structural remodelling due to chronic exposure to volcanogenic air pollution. *Chemosphere*, 222:227–234.
- Hansell, A. & Oppenheimer, C. (2004). Health Hazards from Volcanic Gases: A Systematic Literature Review. *Archives of Environmental and Occupational Health*, 59:628–639.
- Hiraiwa, K. & Van, Eeden, S.F. (2013). Contribution of lung macrophages to the inflammatory responses induced by exposure to air pollutants. *Mediators of Inflammation*. doi: 10.1155/2013/619523
- Mukhopadhyay, S., Hoidal, J.R. & Mukherjee, T.K. (2006). Role of TNF- α in pulmonary pathophysiology. *Respiratory Research*, 7:1–9.
- Viveiros, F., Cardellini, C., Ferreira, T., Caliro, S., Chiodini, G. & Silva, C. (2010). Soil CO₂ emissions at Furnas volcano, São Miguel Island, Azores archipelago: Volcano monitoring perspectives, geomorphologic studies, and land use planning application. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115:1–17.
- Hu, Y., Wang, L.S., Li, Y., Li, Q.H., Li, C.L., Chen, J.M., Weng, D. & Li, H.P. (2017). Effects of particulate matter from straw burning on lung fibrosis in mice. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 56:249–258.

Estudo da atividade hidrotermal no vulcão do Fogo (Cabo Verde) através da análise geoquímica de amostras de solo

Investigating the hydrothermal activity at Fogo volcano (Cape Verde) using geochemical analysis of soil samples

C. Candeias (1), F. Rocha (1), S. Dumont (2,3), A. Maineuil (4), R. Ramalho (5,2), J. Madeira (2) and J. Antunes (3)

GeoBioTec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal (candeias@ua.pt)

Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz, Lisboa, Portugal, Lisboa, Portugal

Universidade da Beira Interior, Instituto Dom Luiz, Covilhã, Portugal

Sorbonne Université, CNRS, EPHE, UMR 7619 METIS, Paris, France

School of Earth and Environmental Sciences, Cardiff University, Cardiff, United Kingdom

Sumário: A caracterização de sistemas hidrotermais em vulcões é relevante uma vez que representam um papel crucial no controlo da dinâmica eruptiva. A longo prazo, os sistemas hidrotermais têm influência na alteração geoquímica das rochas, por dissolução, precipitação e mineralização secundária. O vulcão do Fogo (Cabo Verde) é o mais ativo no Atlântico oriental. Um total de 65 amostras de solos foram recolhidas, 4 anos após a erupção de 2014-2015, na área envolvente à cratera, tendo sido realizada a caracterização geoquímica e mineralógica das amostras. Os resultados das amostras de solos revelaram enriquecimento em Ca, Cu, Co, Fe, Na, P e Ti, quando comparado com as lavas de 2014-2015, confirmado pela análise em componentes principais. A distribuição geoquímica reflete as fases minerais identificadas, o que será discutido considerando os processos hidrotermais.

Palavras-chave: solos, geoquímica, atividade hidrotermal, vulcão do Fogo

Key words: soils, geochemistry, hydrothermal activity, Fogo volcano

Introduction

Volcanic eruptions are usually preceded by release of gases. Volatile components, e.g., water, CO₂, H₂S, SO₂, are initially present in the magma from where they progressively exsolve to form a gas phase while magma is ascending. These volatiles can then interact with ground-waters sitting above the magmatic reservoir leading to the formation of a hydrothermal system. Hydrothermal circulation appears as a key component of the volcanic system allowing the heat transfer to the surface through porous rock/sediments (Renaut and Jones, 2011). Characterizing hydrothermal systems at volcanoes is particularly important as they play a crucial role in controlling eruptive dynamics. In the longer-term, hydrothermal systems participate in the geochemical alterations of rocks, through dissolution, mineral precipitation and secondary mineralization (Heap et al., 2015). In volcanic rocks, hydrothermal alteration leads to the formation of clay minerals (e.g., illite) and/or silica polymorphs (e.g., opal) (Heap et al., 2015). This study presents new geochemical analyses of soil samples to identify and characterize the hydrothermal system of Pico de Fogo from a geochemical point of view.

Context

Fogo volcano (Cape Verde) is the most active volcano in the eastern Atlantic, with 27 registered eruptions in the last 500 years. Historic eruptions occurred in Chã das



Fig. 1. Fogo island with 2014 eruption vent and lava field, Chã das Caldeiras, and Pico do Fogo identified. In the inset, the white dots locate the 65 soil samples sampled every 150 m.

Caldeiras and in the eastern slope of the island. At the summit crater of the main volcanic edifice (2928 m), Pico do Fogo (Fig. 1), gas release was measured with a daily rate of ~219 t CO₂, and ~25 kg H₂S, with sulphur deposits, typical of hydrothermal activity (Dionis et al., 2015). At Chã das Caldeiras, recent volcanic activity is associated with extensive lava flow fields (Teves, 2018).

The last eruption took place in 2014-15, on an SSW-NNE 700 m fissure, with emission of gases, pyroclasts and lava flows covering an area of ~5 km² (Mata et al., 2017).

Material and methods

A total of 65 soil samples (Fig. 1 inset) were collected, 4 years after the 2014-2015 eruption, in the area surrounding the 2014-2015 vent. Samples < 2 mm fraction were analyzed to achieve physical parameters and geochemical characterization by XRF, XRD, and SEM-EDS. These samples were collected simultaneously with self-potential (SP) measurements and soil temperature (ΔT) (Dumont et al., 2019), to provide further information on the fluid circulation at the volcano.

Results and discussion

Analyzed soil samples, were all derived from alkaline basaltic lavas (SiO₂ < 45 %) and were characterized by the presence of minerals such as clinopyroxene (e.g., aegirine [NaFe³⁺Si₂O₆]) and olivine (e.g., forsterite [Mg₂SiO₄]). They presented an alkaline pH and a low organic matter (OM) content, suggesting incipient pedogenetic processes typical of semi-arid environments (Fig. 2).

Geochemical analyses revealed that enrichment factor (EF), in comparison to the 2014-2015 lavas flows. This was low (1.02) in all elements but Ca, Cu, Co, Fe, Na, P, and Ti (2.81). Higher EF was detected for Ca and Na, in relation to the high content in parent lava (Mata et al., 2017). Elements distribution, with similar concentration trend, formed 4 samples groups: (a) Fe, Ca, Mn, Ti, V, with higher content along the N volcano slope, and near the last eruption vent; (b) K, Al, Ba, Ga, Na, P, Rb, Sb, Sr, Th, U, Zn, higher content at the S and N flanks; (c) Mg, Cr, Cu, Ni, S, Sc, higher content at volcano's NW, N

flanks and slope; and (d) Se, Sb, Zr, Te, Pb, higher contents along the N and S flanks.

Principal component analysis of the studied samples, identified 3 principal components (PC): (a) Al, Ca, Fe, K, Na, P, and Ti (61.53 % of the variance explained) – related to identified mineral phases, e.g. augite, diopside, magnetite, the most abundant minerals in the study area, with significant correlation between the elements: e.g., Fe/Ti ($r = 0.878$, $p < 0.01$ - ilmenite); Ca/P ($r = 0.578$, $p < 0.01$ – fluorapatite); K/Al ($r = 0.753$, $p < 0.01$ – illite, leucite). Second PC, with elements Co, Ni, Cr, and Mg (18.01 %), with metals that can be easily incorporated in Mg enriched minerals, e.g., forsterite, with significant correlation between Mg/Cr ($r = 0.608$; $p < 0.01$), Mg/Ni ($r = 0.544$; $p < 0.01$), and Mg/Co ($r = 0.282$; $p < 0.05$). Third PC, with Se and Cu (8.64 %) with a negative correlation that can be justified by opposing variables mobility in alkaline environment (Se high, Cu low).

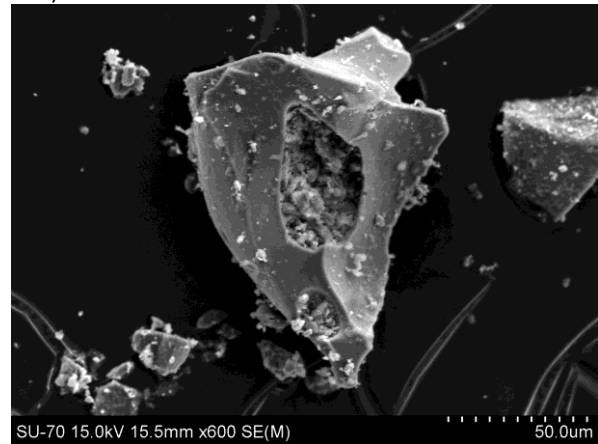


Fig. 2. SEM analysis of soils individual particles. An example of a particle with a mineral agglomerate enriched in Fe, S, and Ti, with angular morphology typical of magmatic fragmentation processes and limited or no weathering.

Acknowledgments: The authors acknowledge the Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES for financial support through the SFRH/BPD/99636/2014 and SFRH/BPD/117714/2016 grants, the 2021.00876.CEECIND contract, and projects UIDB/04035/2020 to GeoBioTec RU, UIDB/50019/2020 to Instituto Dom Luiz (IDL) and the FIRE project (PTDC/GEO-GEO/1123/2014).

References

- Dionis, S., Pérez, N., Hernández, P., Melián, G., Rodríguez, F., Padrón, E., ... Cabral, J. (2015). Diffuse CO₂ degassing and volcanic activity at Cape Verde islands, West Africa. *Earth, Planets and Space*, 67(1), 1-15.
- Dumont S., Maineult A., Antunes J., Ramalho R. (2019). Investigating the hydrothermal system at Fogo volcano (Cape Verde) using self-potential measurements. Instituto Dom Luiz 1st Conference, 4 June.
- Heap, M., Kennedy, B. M., Pernin, N., Jacquemard, L., Baud, P., Farquharson, J., ... Dingwell, D. (2015). Mechanical behaviour and failure modes in the Whakaari (White Island volcano) hydrothermal system, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 295, 26-42
- Mata, J., Martins, S., Mattielli, N., Madeira, J., Faria, B., Ramalho, R., ... Martins, L. (2017). The 2014–15 eruption and the short-term geochemical evolution of the Fogo volcano (Cape Verde): Evidence for small-scale mantle heterogeneity. *Lithos*, 288, 91-107.
- Renaut, R., Jones, B. (2011). Hydrothermal environments, terrestrial. In *Encyclopedia of geobiology*.
- Teves, A. (2018). Historical lava flows from the Fogo Volcano (Cape Verde): cartography and geomorphological analysis (PhD Thesis).

Mercury mobilization from natural and experimental combustion of coal mining waste

Mobilização de mercúrio proveniente da combustão natural e experimental de resíduos mineiros de carvão

E.E. Çelebi (1), J. Ribeiro (2,3), E. Font (2,3) and T. Adatte (4)

- (1) Institute of Earth and Marine Sciences, Gebze Technical University, Turkey, e.celebi@gtu.edu.tr
- (2) University of Coimbra, Department of Earth Sciences, Portugal.
- (3) Instituto Dom Luiz, Portugal.
- (4) Institut des sciences de la Terre (ISTE), Université de Lausanne, Switzerland.

Summary: Este trabalho tem como objetivo investigar a mobilização de Hg numa escombreira da exploração de carvão na Bacia Carbonífera do Douro, devida ao processo de autocombustão. Foram determinadas as concentrações de mercúrio em resíduos mineiros não queimados e queimados, colhidos a diferentes profundidades na escombreira de São de Pedro da Cova, e em materiais resultantes da combustão experimental a temperaturas controladas de amostras de resíduos mineiros não queimados. Os resultados demonstram que o Hg está enriquecido nos materiais superficiais devido à vaporização do Hg, proveniente de materiais a maior profundidade, onde a temperatura de combustão é muito superior, e subsequente nucleação do Hg(0) ao atingir os materiais superficiais, e onde a temperatura é menor. Como resultado dos testes de combustão experimental, a concentração de Hg diminuiu a partir de 400°C, obtendo-se concentrações de ~10 ppb nos resíduos obtidos a 950°C.

Palavras-chave: mercúrio, resíduos mineiros de carvão, autocombustão, testes de combustão.

Keywords: mercury, coal mining residues, self-combustion, combustion tests.

Mercury (Hg) is significantly harmful to life forms due to its toxicity, methylation, and bioaccumulation tendencies. The occurrence and enrichment of Hg (as cinnabar) in coals from Douro Coalfield have been reported in previous studies (Moura et al., 2018; Çelebi & Ribeiro, 2023). Hg release from self-burning coal mine tailings, and enrichment on the surface of these tailings by sublimation have been reported (Nádudvari et al., 2021; 2022). Hg vaporizes at temperatures superior to ~350°C. Therefore, the self-combustion in coal waste piles in Douro Coalfield has potential risks to the environment and to human health that requires urgent attention and mitigation.

In this context, the São Pedro da Cova waste pile (SPC-WP) is particularly significant since: (i) the coaly waste materials have been under combustion since 2005 up to now; (ii) a previous study of burned materials from the SPC-WP demonstrated that the combustion reached very high temperature (at least up to 1500 °C in some areas relatively close to the surface, at 1 to 2 m in depth) (Ribeiro et al., 2010); (iii) the SPC-WP is located very close to a populated area.

Samples of unburned and burned mining waste materials from SPC-WP were collected. In the burned areas, two-colored (black, reddish) and three-colored (black, whitish, reddish) layering are observed (Fig. 1).



Fig. 1. Burned area of SPC-WP. The black superficial layer has approximately 20 cm in thickness; the intermediate white-gray layer has approximately 5 to 10 cm in thickness; the reddish deep layer is located below.

The superficial black layer located in the burned areas has the same color as the material located in unburned areas. Samples along the different layers in the burned areas were collected. In addition, two samples from the unburned areas were heated in a muffle furnace (at 300°C, 400°C, 550°C, and 950°C).

The objectives of this study are to determine and compare the Hg concentration in unburned and burned materials from the SPC-WP, as well as from material heated in the muffle furnace (1), and to identify and understand the mobilization of Hg during combustion (2). Hg analysis was carried out by high frequency atomic absorption spectrometer.

Results reveal that higher concentrations of Hg were determined in the superficial materials of burned layered areas (black layer). The Hg contents of these black materials vary from 122,300 up to 203,500 ppb (n=5). In the upper layer from unburned areas, Hg concentrations are between approximately 2,800 and 9,100 ppb (n=4). The reddish materials of the burned areas present Hg concentrations between approximately 519 and 6,300 ppb (n=9), while the white-gray layer presents concentrations ranging approximately from 2,700 to 9,800 ppb (n=4). Figure 2 shows the variation of Hg concentration along a layered profile in SPC-WP.

The determination of Hg in two unburned samples show that Hg concentration decreases gradually with the increase of combustion temperature. The Hg content decreases from 2,811 and 9,093 ppb in the unburned samples until approximately 10 ppb in the residues obtained from the combustion at 950°C. From 400°C, the color of the samples turned into orangish-reddish, indicating that severe combustion had taken place in deeper sections, producing

gaseous elementary Hg (Hg(0)) that further ascent along the pile. Once emitted in the form of Hg(0), this can oxidize into Hg(II) in contact with water and atmosphere. Fixation onto organic matter, iron sulfur or clays will further concentrate this Hg in the most superficial layers.

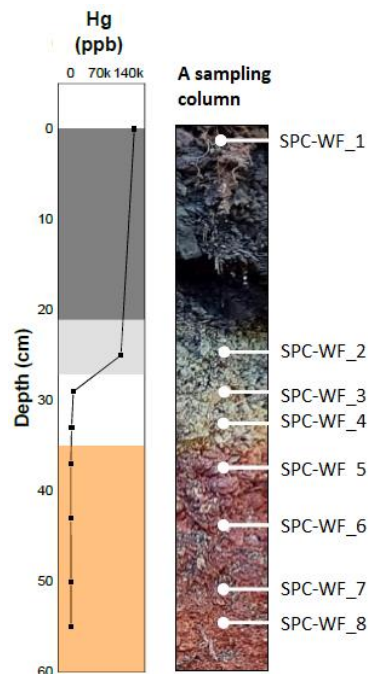


Fig. 2. Oscillation of Hg concentration in a burned zone of SPC-WP as a function of depth.

Acknowledgments: The authors thank TÜBİTAK - The Scientific and Technological Research Council of Turkey for providing a postdoctoral fellowship (BİDEB 2219, applying number: 1059B192001367) to Emin Ender Çelebi.

References

- Çelebi, E. & Ribeiro, J. (2023). Prediction of acid production potential of self-combusted coal mining wastes from Douro Coalfield (Portugal) with integration of mineralogical and chemical data. *International Journal of Coal Geology*, 265, 104152.
- Moura, H., Pinto de Jesus, A.D., Ribeiro, J., Suárez-Ruiz, I., Flores, D. & Cunha, P.P. (2018). Occurrence of Mercury and enrichment source in coals from the Douro Carboniferous Basin, São Pedro da Cova area (NW Portugal). 70th Meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology, 71-72.
- Nádudvari, Á., Cabała, J., Marynowski, L., Jabłońska, M., Dziurawicz, M., Malczewski, D., Kozielska, B., Siupka, P., Piotrowska-Seget, Z., Simoneit, B.R.T. & Szczyrba, M. (2022). High concentrations of HgS, MeHg and toxic gas emissions in thermally affected waste dumps from hard coal mining in Poland. *Journal of Hazardous Materials*, 431, 128542.
- Nádudvari, Á., Kozielska, B., Abramowicz, A., Fabiańska, M., Ciesielczuk, J., Cabała, J. & Krzykowski, T. (2021). Heavy metal- and organic-matter pollution due to self-heating coal-waste dumps in the Upper Silesian Coal Basin (Poland). *Journal of Hazardous Materials*. 412, 125244.
- Ribeiro, J., Ferreira da Silva, E., & Flores D. (2010). Burning of coal waste piles from Douro Coalfield (Portugal): Petrological, geochemical and mineralogical characterization. *International Journal of Coal Geology* 81, 359-372.

Estudo de resíduos mineiros de carvão afetados termicamente: Especificidades petrográficas e mineralógicas

Study of thermally affected coal mining wastes: Petrographic and mineralogical peculiarities

M. Costa (1), A. Rajnauth (2), P. Santos (2), J. Ribeiro (3) e D. Flores (2)

- (1) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território e Instituto de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre 687, 4169-007 Porto, mariana.costa@fc.up.pt
- (2) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território e Instituto de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
- (3) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, 3030 – 790 Coimbra, Portugal; Instituto Dom Luís (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749 – 016 Lisboa, Portugal

Summary: *Pejão Mining Complex was one of the most important areas of coal mining activities. This mine extracted anthracite A for over a century until its closure in 1994. Some of the coal wastes from this activity were affected by a wildfire in 2017 that caused their ignition. To extinct the fire of the waste pile under study, the remobilization of the material with a mixture of water and a cooling accelerator agent was performed. A total of 21 samples were taken from the waste pile, affected and unaffected by combustion, and others with mixed materials. Petrographic and mineralogical characterization was carried out using optical microscopy and SEM-EDS. The samples were mostly composed by mineral matter, essentially iron oxides. Vitrinite is the main constituent of the organic fraction, showing evidence of thermal effects in all burned samples. Cinnabar, galena, florencite, arsenopyrite and Ag sulfate were also identified.*

Key words: *Coal waste pile, Petrography, Mineralogy, Combustion, Anthracite*

Palavras-chave: Resíduos de carvão, Petrografia, Mineralogia, Combustão, Antracite

O Complexo Mineiro do Pejão localiza-se em Castelo de Paiva, Norte de Portugal, na Bacia Carbonífera do Douro (Lemos de Sousa, 1973; Pinto de Jesus, 2003). Neste complexo explorou-se antracite A durante mais de um século, tendo a mina encerrado em 1994 e deixado cerca de 20 escombrelras como resultado desta exploração (Ribeiro et al., 2011, 2022).

Este trabalho foi focado na escombrelra do Fojo, que em 2017 entrou em combustão devido aos incêndios florestais que em outubro desse ano afetaram a região. A escombrelra manteve-se em combustão durante dois anos, tendo sido feita uma intervenção no sentido de minimizar os danos causados pela combustão dos resíduos e acelerar a sua extinção. O processo de extinção consistiu na remobilização do material em ignição usando uma mistura de água com um agente químico de arrefecimento rápido impedindo, ainda, a ignição de escombrelras contíguas. Neste trabalho apresenta-se o estudo petrográfico e mineralógico das frações orgânicas e inorgânicas para se conhecerem os efeitos térmicos associados à combustão destes resíduos mineiros e os eventuais efeitos da utilização de um agente químico para a extinção da combustão destes materiais.

Para este estudo foram colhidas 21 amostras, das quais 10 são amostras da zona afetada pela combustão, 5 da zona não afetada, e 6 com material de mistura, da zona afetada e da zona não afetada, resultante da remobilização do material. O estudo petrográfico foi realizado recorrendo a superfícies polidas preparadas de acordo com métodos normalizados, usando microscopia ótica. O estudo destas amostras baseou-se na descrição qualitativa dos componentes orgânicos e na medição da refletância máxima da vitrinite (ISO 7404-5, 2009). A identificação das partículas orgânicas que apresentavam efeitos térmicos foi baseada na classificação do ICCP (Misz-Kennan et al., 2020). A fração inorgânica foi identificada microscopicamente e complementado por SEM-EDS.

Estes carvões são classificados como antracite A (carvões de alto grau), e na sua análise petrográfico observa-se que estas amostras são na sua grande maioria compostas por matéria mineral, essencialmente óxidos de ferro. Nas amostras queimadas estes óxidos apresentam cor cinzento-azulado ou avermelhado, indicativo das altas temperaturas atingidas durante a combustão, contrariamente ao que se verifica nos óxidos de ferro

das amostras não queimadas, que resultam essencialmente da meteorização de minerais de ferro, normalmente a pirite. A fração orgânica é essencialmente constituída por vitrinite, mais concretamente colotelinite e colodetrinite, ocorrendo, ainda, inertinite, especialmente fusinite e semifusinite. Nas amostras afetadas pela combustão e nas amostras de mistura os efeitos da combustão são representados por fraturas, orlas de reação, vacúolos de desvolatilização e, pontualmente, carbono pirolítico. É, também, visível a oxidação da pirite framboidal.

As orlas de reação com refletância mais baixa das partículas afetadas termicamente ocorrem quando os carvões de alto grau, como é o caso destes carvões, são expostos a elevadas temperaturas de combustão (Taylor et al., 1998). Contudo, foram identificadas partículas cuja orla de reação tem uma refletância mais elevada, indicativo de temperaturas de combustão mais baixas (Alpern & Maume, 1969). Este último aspeto pode estar associado ao rápido arrefecimento do material devido ao agente de arrefecimento rápido utilizado na extinção da combustão. Para comparação destes efeitos térmicos

foi medida a refletância máxima da vitrinite em partículas sem efeitos térmicos e nas partículas com orla de reação foi medida a refletância máxima da vitrinite no bordo e no centro da partícula. Os resultados mostram que no centro das partículas com efeitos de combustão a refletância máxima é semelhante à das partículas sem efeitos de combustão. Quanto às orlas de reação, as mais escuras apresentam um decréscimo médio de cerca de 3% comparativamente com o centro da partícula, ao passo que nas orlas mais claras se denota um aumento médio de cerca de 2%.

Na análise mineralógica da fração inorgânica, em todas as amostras foram identificados minerais como o zircão, rútilo, pirite, óxidos de ferro, xenótimo (fosfato de Y com Dy e Gd) e também monazite (fosfato de Ce com La e Nd), esta por vezes contendo Th e U. Foram, ainda, identificadas partículas de cinábrio, galena, florencite (fosfato de Ce com Al), arsenopirite e também um sulfureto de Ag. Numa das amostras foi observado o que parece ser cinábrio que evaporou quando foi incidido o feixe na análise de SEM-EDS, deixando vacúolos na partícula de zircão onde o mineral de Hg estava instalado.

Agradecimentos: Trabalho apoiado pelo projeto “SHS: Soil health surrounding former mining areas: characterization, risk analysis, and intervention”, financiado no âmbito do Aviso de Abertura n.º NORTE-45-2020-75 – SISTEMA DE APOIO À INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA – “PROJETOS ESTRUTURADOS DE I&D&I” – HORIZONTE EUROPA, Ref. NORTE-01-0145-FEDER-000056 e enquadrado nas atividades do GI3 do ICT (UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020).

Referências

- Alpern, B. & Maume, F. (1969). Etude pétrographique de l'oxydation naturelle et artificielle des houilles. *Revue de l'Industrie Minière* 51, 979–997.
- ISO 7404-5 (2009). Methods for the Petrographic Analysis of Coals – Part 5: Method of Determining Microscopically the Reflectance of Vitrinite. International Organization for Standardization, p. 14. Geneva, Switzerland.
- Lemos de Sousa, M.J. (1973). Contribuição para o conhecimento da Bacia Carbonífera do Douro. 2 Vols (Texto, 427 pp.; Estampas). Porto. (Tese de doutoramento).
- Misz-Kennan, M., Kus, J., Flores, D., Avila, C., Büçkün, Z., Choudhury, N., Christianis, K., Hower, J.C., Joubert, J.P., Kalaitzidis, S., Karayigit, A.I., Malecha, M., Marques, M., Martizzi, P., O'Keefe, J., Panaitescu, C., Pickel, W., Predeanu, G., Pusz, S., Ribeiro, J., Rodrigues, S., Singh, A., Suárez-Ruiz, I., Sýkorová, I., Wagner, N. & Zivotic, D. (2020). Development of a petrographic classification of organic particles in coal wastes (an ICCP Classification System, Self-heating Working Group - Commission III). *International Journal of Coal Geology* 220, 103411.
- Pinto de Jesus, A. (2003). Evolução sedimentar e tectónica da Bacia Carbonífera do Douro (Estefaniano C inferior, NW de Portugal). *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe*, 28, 107–125.
- Ribeiro, J., Ferreira da Silva, E., Pinto de Jesus, A. & Flores, D. (2011). Petrographic and geochemical characterization of coal waste piles from Douro Coalfield (NW Portugal). *International Journal of Coal Geology*, 87, 226–236.
- Ribeiro, J., Suárez-Ruiz, I. & Flores, D. (2022). Coal related fires in Portugal: New occurrences and new insights on the characterization of thermally affected and non-affected coal waste piles. *International Journal of Coal Geology*, 252, 103941.
- Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R. & Robert, P. (1998). *Organic Petrology*. Gerbrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.

Radioatividade natural de solos na envolvente da central termoelétrica de Sines: impactes da combustão de carvão

Natural radioactivity of soils surrounding Sines thermal power plant: impacts of coal combustion

J. Erbolato Filho (1), J. Ribeiro (2,3) e A. Pereira (4)

(1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra; Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra, joseaugustobef@gmail.com

(2) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, joana.ribeiro@uc.pt

(3) Instituto Dom Luiz.

(4) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra; Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra, apereira@dct.uc.pt

Summary: For 36 years, the coal combustion in Sines thermal power plant generated a complex mixture of gases and particles that were partially emitted into the atmosphere and the environment. The determination of radiological parameters in soils surrounding the power plant reveals that soils in the southern area have higher activity concentration of natural radionuclides, exhalation rates and emanation coefficients than those located at north. The higher values of radiological parameters in the southern area are explained by preferential direction of winds and the proximity to storage facilitates of coal and products derived from combustion. The higher exhalation rates and low emanation coefficients of thoron indicates that K and Th may be accumulated and encapsulated in the mineral fraction of ashes while U, preferentially bounded to organic matter was mobilized during coal combustion. The results do not point to a significant radiological risk, although it is higher in the southern area.

Key words: coal combustion, soils, ash, environmental legacy, radiological risk.

Palavras-chave: combustão de carvão, solos, cinzas, legado ambiental, risco radiológico.

A combustão de carvão em instalações industriais gera uma complexa mistura de gases e partículas, que são parcialmente emitidos e dispersados para a atmosfera e os meios envolventes (Yao, et al., 2010). Investigar o uso de carvão no passado é uma importante ferramenta para a identificação e caracterização dos impactes no ambiente e na saúde humana relacionados com o uso de combustíveis fósseis. A avaliação do legado ambiental deixado pela queima de combustíveis fósseis é particularmente relevante nos dias de hoje, no combate à crise climática e na valorização da transição energética. Este trabalho tem como objetivo identificar os potenciais impactes da combustão de carvão na central termoelétrica de Sines (CTS), cuja atividade (desde 1985; EDP, 2019) terminou em 2021, relacionados com radionuclídeos naturais. Estes radionuclídeos ocorrem naturalmente e com concentrações variáveis nos carvões, podendo, por isso, ser parcialmente mobilizados durante a combustão. Neste cenário o U é particularmente relevante porque tende a ocorrer em associação com a matéria orgânica nos carvões (Orem and Finkelman, 2003).

Foram colhidas 28 amostras de solos na área envolvente à CTS. Os pontos de amostragem localizam-se a uma distância máxima de até 1 km ao

redor da CTS. Foram ainda estudadas duas amostras de cinzas provenientes da CTS.

Os materiais coletados foram analisados através de diferentes técnicas analíticas no Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra (LRN), que permitiram determinar: a concentração de atividade de radioisótopos naturais (^{40}K , ^{232}Th e ^{238}U) através de espectrometria de radiação gama com detetor de iodeto de sódio (NaI) de bancada, e as taxas de exalação e coeficientes de emanação dos gases radão e torão por espectrometria de radiação alfa.

Os resultados obtidos mostram que os valores de concentração de atividade de radionuclídeos, e de taxas de exalação e coeficientes de emanação são bastante heterogéneos entre os diferentes materiais analisados. Na tabela I apresenta-se o intervalo de valores de concentração de atividade do ^{40}K , ^{232}Th e ^{238}U determinados nas amostras do presente estudo. Na tabela II apresentam-se os dados de taxa de

exalação e coeficiente de emanação dos gases radão e torão.

Tab I - Concentração de atividade do ^{40}K , ^{232}Th e ^{238}U nas amostras estudadas (em Bq.kg^{-1}).

	^{40}K	^{232}Th	^{238}U
Solos	178-514	6-68	7-42
Cinzas	417-577	45-51	55-141

Tab II - Taxa de exalação (em Bq.kg.h^{-1}) e coeficiente de emanação do radão (^{222}Rn) e torão (^{220}Rn) nas amostras estudadas.

		Solos	Cinzas
Taxa de exalação	^{222}Rn	0,002-0,042	0,003-0,012
	^{220}Rn	2,6-115,0	5,6-21,4
Coeficiente de emanação	^{222}Rn	0,025-0,215	0,006-0,011
	^{220}Rn	0,006-0,091	0,003-0,091

Os solos apresentam valores mais baixos de concentração de atividade de radionuclídeos e bastante heterogêneos entre si, identificando-se dois padrões principais que incluem: os solos colhidos a norte da CTS, com valores mais baixos, e os solos colhidos a sul da CTS, com valores mais altos. Verifica-se ainda que as amostras colhidas na área a sul da CTS apresentam valores mais elevados das taxas de exalação e coeficiente de emanação dos gases radão e torão. Esses valores mais altos podem dever-se à proximidade aos locais de armazenamento de carvão e de subprodutos da combustão, como também à direção predominante dos ventos naquela área (Galp, 2007), promovendo a mobilização de partículas.

As cinzas apresentam concentrações de atividade expressivamente mais elevadas que os solos, mas as taxas de exalação e coeficientes de emanação são mais baixos. Tal deve-se à concentração da fração mineral nas cinzas, portadora principalmente do K e Th, cujas fases minerais mais resistentes ficam encapsuladas em aglomerados, esferas de vidro e partículas de char que constituem as cinzas (Fu et al., 2022).

Nos solos, as taxas de exalação do torão são significativamente mais elevadas que as do radão. Contudo, os coeficientes de emanação do radão são superiores aos do torão. As taxas de exalação do radão nos solos, proveniente da cadeia de decaimento do U, podem ser devidas à libertação do U durante o processo de combustão na CTS, uma vez que este ocorre preferencialmente associado à fração orgânica. O K e Th, preferencialmente associados à fração mineral (Orem and Finkelman, 2003) acumular-se-ão nas frações minerais que constituem as cinzas resultantes do processo combustão e que são parcialmente emitidas para os meios envolventes, depositando e acumulando-se nos solos. Os parâmetros de risco radiológico nos solos da área envolvente à CTS não indicam um risco significativo. Contudo, os solos a sul apresentam valores de parâmetros de risco mais elevados do que as a norte. Esta diferença entre os dois padrões de radionatividade nos solos da área estuda materializa parte do impacte ambiental associado à combustão de carvão na CTS.

Agradecimentos: Ao Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra pelo apoio e disponibilização dos meios necessários para a realização deste estudo.

Referências

- EDP - Energias de Portugal (2019). Central termoelétrica de Sines, declaração ambiental 2019. Atualização da declaração ambiental de 2018. https://emas.apambiente.pt/sites/default/files/files/emas/declaracoes/da_12.pdf
- Fu, B., Hower, J. C., Zhang, W., Luo, G., Hu, H., Yao, H. (2022). A review of rare earth elements and yttrium in coal ash: Content, modes of occurrences, combustion behaviour, and extraction methods. *Progress in Energy and Combustion Science*, 88, 10095.
- Galp (2007). Central de ciclo combinado da Galp Power em Sines (S.Torpes), estudo de impacte ambiental. Relatório técnico, pp. 388. https://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA1699/ccc%20s.%20torpes_eia_relata_tecnico20181126151447.pdf
- Orem, W. H., Finkelman, R. B. (2003). Coal formation and geochemistry. In: Holland, H.D., Turekian, K.K., Mackenzie, F.T., (Eds.), *Treatise on Geochemistry, Sediments Diagenesis and Sedimentary Rocks* vol. 7, Elsevier, Amsterdam, pp. 191–222.
- Yao, Q., Li, S. Q., Xu, H. W., Zhuo, J. K., Song, Q. (2010). Reprint of: Studies on formation and control of combustion particulate matter in China: A review. *Energy*, 35(11), 4480-4493.

Geotermia Superficial em Portugal: Contributos da Experiência Espanhola, Lições Aprendidas

Shallow geothermal energy in Portugal: Contributions from Spanish experience

A. Fernandez (1)(2), L. Novelle (2), B. C. Rodrigues (3), J. Pamplona (4), N. Ramos (5) e A. Guerner Dias (6)

- (1) Estudante de Doutoramento. Departamento de Engenharia Cartografica e do terreno, Universidade de Salamanca (Espanha), idu041055@usal.es
- (2) Novelle e Fedz Engenharia, Parque Tecnológico da Galiza, 32901 San Cibrao, Ourense.
- (3) CONGEO, Lda., Rua Dr. Ribeiro Magalhães, 89 ET, 4400-285 Vila Nova de Gaia
- (4) ICT - Instituto de Ciências da Terra, Pólo da Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga
- (5) Universidade da Maia, 4475-690 Maia
- (6) DGAOT, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 4169-007 Porto

Summary: HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) heating and cooling systems are responsible for the largest share of energy use in buildings and play an important role as they represent 40% of the energy consumption in Europe and 36% of the Greenhouse Gases. In this context, heat pumps have positioned themselves in the market as the most appropriate solution for saving emissions, as demonstrated by the high level of sales worldwide and the exponential potential growth in the coming years. Within these systems geothermal energy is a renewable technology, which by working with soil temperatures achieves a higher coefficient of performance. This article examines the common points that Portugal and Spain have in the geothermal field, to share, throughout 20 years of travel, the lessons learnt in terms of development, regulations and experiences including 4 examples of real cases, for the use of low enthalpy geothermal technology in a mature market.

Key words: Geothermal energy, Renewable energy, Heating and Cooling energy, Ground Heat Exchanger, Energy efficiency

Palavras-chave: Energía Geotérmica, Energía renovável, Energía de Aquecimento e Arrefecimento, Permutadores de calor geotérmicos, eficiencia energética.

Introdução

As energias renováveis em geral e a energia geotérmica em particular, apresentam um potencial económico interessante, por um lado, como fonte de emprego e desenvolvimento para os profissionais da área da geologia, devido à grande demanda de instalações de climatização no mercado da construção, e por outro lado, à necessidade de proteção ambiental, por causa das alterações climáticas, promoveram a presença considerável e o auge das energias renováveis para cobrir essas necessidades energéticas (Potocnik, 2007). As instalações de energia renovável reduzem as emissões de gases de efeito estufa e esta situação gerou, e gera, um impacto global no mercado de energia (Blum, 2010). Além disso, os países buscam independência e estabilidade energética para evitar situações de vulnerabilidade derivadas de circunstâncias e ações geopolíticas. Entre as fontes de energia renovável está a energia geotérmica que pode ser usada para produzir eletricidade, aquecimento, água quente e refrigeração, entre outros usos (Lund, 1997; Barbier,

2002). Neste sentido, o aproveitamento da produção de eletricidade é feito em Portugal há anos, no entanto, o aproveitamento da energia geotérmica para climatização tem tido uma penetração mais lenta no mercado, ao contrário do que acontecia noutros países vizinhos, como é o caso da Itália e Espanha. A Espanha, pela sua proximidade geográfica a Portugal, no espaço comum da Península Ibérica, torna razoável a consideração das semelhanças que ambos os países apresentam em termos de clima e geologia, para além de outros fatores relacionados, para a utilização da energia geotérmica com um potencial de crescimento muito interessante em Portugal. O registo de equipamentos geotérmicos a nível europeu (Fig. 1) dá a ideia da importante dimensão deste mercado, tornando-se, assim, numa tarefa importante para o setor conforme é evidenciado nos dados publicados pelo Conselho Europeu de Energia Geotérmica (EGEC). Segundo o relatório anual de 2020 observa-se um crescimento superior a 10% ao ano nos últimos anos (ECEI, 2020).

A Espanha terminou em 2022 – segundo os dados publicados pelo IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía / Instituto para a Diversificação e Economia da Energia) – o registo oficial de instalações geotérmicas por número e potência com dados até 2018, e alguns já de 2020, tendo já uma presença relevante a nível europeu, contribuindo assim para os objetivos das políticas ambientais. Os dados indicam que, entre outras informações, os usos mais comuns por potência das instalações executadas, são 35% de habitações residências e 60% de hospitais, lojas, hotéis, escolas e escritórios. Um dos pontos importantes são os valores do fator ou coeficiente de desempenho estacional (SCOP - Seasonal Coefficient Of Performance Factor) para cada instalação, que reflete a quantidade de energia térmica fornecida em função da energia elétrica consumida e que, de fato, é um parâmetro que contribui para os objetivos ambientais.

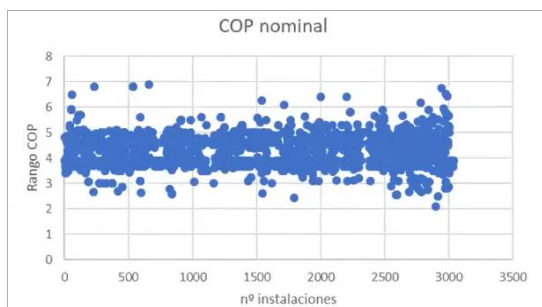


Fig. 1. Fator de rendimento estacional médio das instalações do registo de dados do IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía / Instituto para a Diversificação e Economia da Energia). (<https://estadisticas-bombasdecalor.idae.es/>)

Casos práticos

São apresentados quatro casos práticos de edifícios (Fig. 2) que possuem energia geotérmica com sondagens verticais para captação e produção de energia nas suas

instalações HVAC. De forma representativa foram escolhidos de acordo com o uso, situação climática e condição geológica para perfuração.

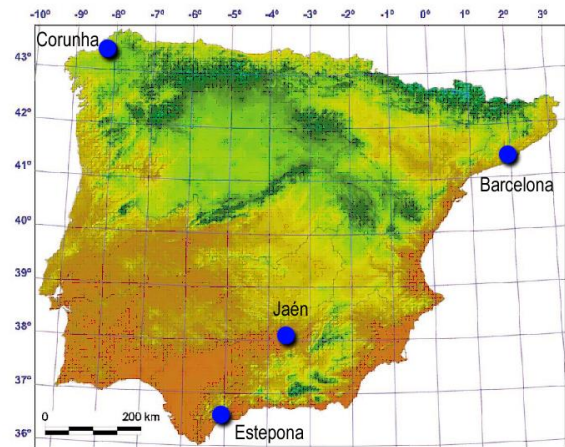


Fig. 2. Localização das 4 obras representativas no atlas climático da península ibérica. Modificado de Ninyerola et al. (2005).

Os exemplos considerados são:

- Novo hospital a Sul de Barcelona, com mais de 40.000 m², em Viladecans, onde o arrefecimento e o aquecimento são produzidos num campo de captação geotérmica;
- Nova sede corporativa na Corunha, Galiza, de uma das maiores cervejarias Espanholas;
- Complexo turístico, Hotel Spa Resort na costa do Sol em Estepona;
- Edifício residencial com 65 casas no centro histórico monumental da cidade de Jaén.

Na comunicação são mostradas as características da execução, o número de sondagens e a informação relevante para o potencial no território português.

Agradecimentos: e reconhecimento ao Professor Dr. Martins Carvalho pelo trabalho pioneiro que há 40 anos já divulgava a energia geotérmica, sendo uma referência para a comunidade técnica e científica.

Referências

- Potocnik, J. (2007). Renewable energy sources and the realities of setting an energy agenda. *Science* 07;315:810–1.
- Blum, P., Campillo, G., Münch, W. & Kölbl, T. (2010). CO2 savings of ground source heat pump systems - A regional analysis. *Renewable Energy*.
- Lund, J.W. (1997). Direct heat utilization of geothermal resources. *Renewable Energy*, Elsevier, vol. 10(2), pages 403-408.
- Barbier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*; 6:3–65.
- ECEI – European Commission Energy Information (2020). Published 17th february 2020 and Updated 25th February 2020. <https://estadisticas-bombasdecalor.idae.es/>
- Ninyerola, M., Pons, X. & Roure, J.M. (2005). Atlas climático digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica. Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona.

Legado geoquímico de eventos hidrometeorológicos extremos na sedimentação de pequenos lagos na República Dominicana

Geochemical legacy of extreme hydrometeorological events on the sedimentation of small lakes in Dominican Republic

R. Fonseca (1) e J. Araújo (2)

- (1) Dept. Geociências, ECT, Instituto de Ciências da Terra, Lab. AmbiTerra, Univ. Évora, rfonseca@uevora.pt
(2) Instituto de Ciências da Terra, Lab. AmbiTerra, Univ. Évora

Summary: In Dominican Republic, extreme hydrometeorological events (EHE) have increased in frequency and/or intensity affecting the structure and the functioning of dam lakes, by altering the sedimentation processes and the inputs of major and trace elements. Studies carried out in two reservoirs located near the higher mountainous zone (Cordillera Central), with identical lithology in the drainage basins and distinct climatic conditions (Tavera, at North, and Sabana Yegua, at South), tried to evaluate the influence of the climate and EHE in their sedimentation. These studies concluded that the multiple factors that generally affected sedimentation in lakes worldwide, are superimposed by the extreme climatic conditions that are annually registered which led to high rates of particles leaching from basins and a high hydrological and sedimentary dynamism.

Key words: extreme hydrometeorological events, dam reservoirs, sedimentation, geochemical studies, Dominican Republic

Palavras-chave: eventos hidrometeorológicos extremos, lagos de barragem, sedimentação, estudos geoquímicos, República Dominicana

Diversas regiões tropicais, de uma forma periódica, são atingidas por eventos hidrometeorológicos extremos (EHE) que afetam a estrutura e funcionamento dos lagos de barragem, alterando os processos de sedimentação, os *inputs* e comportamento de metais, nutrientes e compostos orgânicos, e a qualidade da água. Estes eventos são frequentes na República Dominicana devido à sua localização em relação a furacões e tempestades que se formam na zona sul-central do Atlântico tropical e que são arrastados pelos ventos alísios a noroeste, tendo estes aumentado significativamente de frequência e/ou intensidade desde os anos 90 (Delanoy *et al.*, 2019). Este clima, numa região vulcânica com declives pronunciados e solos de textura fina, leva ao deslizamento de grandes massas de solo, causando elevadas taxas de sedimentação nos lagos e diminuindo a qualidade da água. Estudos realizados em dois lagos artificiais localizados perto da zona montanhosa mais alta (Cordillera Central), com litologia idêntica nas bacias de drenagem e condições climáticas ligeiramente distintas (Tavera a Norte com maior precipitação, Sabana Yegua (SY) a Sul, sob clima mais seco), tentaram avaliar a influência dos EHE na sua sedimentação, caracterizada por taxas superiores a 2300 m³/km²/ano). As bacias de Tavera e Sabana Yegua são

contíguas e caracterizam-se por uma grande variedade de rochas ígneas (de composição ultrabásica a intermédia), rochas vulcano-sedimentares de origem em arco-ilha, rochas metamórficas e rochas sedimentares detríticas e carbonatadas. As principais diferenças entre as duas bacias são que Tavera tem uma maior extensão de rochas ígneas tonalíticas, básicas e ultrabásicas, enquanto Sabana Yegua tem maior influência de rochas sedimentares vulcânicas, carbonatadas, e detríticas como fontes (Araújo *et al.*, 2019).

Em toda a área dos lagos, foram amostrados 32 sedimentos superficiais com uma draga *Shipeck* em dois períodos sazonais (após chuva e seca) e 8 colunas de sedimentos (3 em Sabana Yegua e 5 em Tavera) com um corer *Uwitec*, de forma a se obter a distribuição espacial e temporal das características geoquímicas dos materiais depositados. As colunas sedimentares, com aproximadamente 1 metro de comprimento, foram seccionadas em camadas de 1 cm de espessura até aos primeiros 20 cm e em camadas de 2 cm até ao fim. Os elementos maiores e traço, incluindo elementos terras raras (ETR) foram analisados através de ICP-OES após fusão alcalina e digestão multi-ácida (H₂O₂-HCl-HNO₃-HF) por sistema de micro-ondas de alta pressão. Embora existam diferenças na composição química dos sedimentos entre os dois lagos, como consequência de pequenas

variações litológicas das bacias de drenagem, a sedimentação é muito uniforme. Em cada lago, os dados geoquímicos e texturais são homogêneos em toda a extensão e entre os dois períodos de amostragem, incluindo zonas mais profundas e pouco profundas e entradas dos principais cursos de água. Exemplos desta uniformidade são evidentes pelos valores médios e de desvio padrão dos elementos maiores e traço mais imóveis tais como Al, Fe, Si, Ti, Cr ou Sr (Al: $7,48 \pm 0,81\%$ (SY) e $9,81 \pm 0,93\%$ (Tavera), Fe: $5,14 \pm 0,59\%$ (SY) e $6,72 \pm 0,40\%$ (Tavera), Si: $22,04 \pm 2,24\%$ (SY) e $19,84 \pm 0,95\%$ (Tavera), Ti: $0,52 \pm 0,05\%$ (SY) e $0,57 \pm 0,03\%$ (Tavera), Cr: $158,32 \pm 29,64 \mu\text{g.g}^{-1}$ (SY) e $272,74 \pm 62,10 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Tavera); Sr: $235,32 \pm 82,07 \mu\text{g.g}^{-1}$ (SY) e $142,33 \pm 46,87 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Tavera)). A distribuição de elementos traço mostra também pouca variação espacial (e.g., Zn em Tavera: $112,54 \pm 7,67 \mu\text{g.g}^{-1}$, Ni em SY: $98,81 \pm 10,29 \mu\text{g.g}^{-1}$). Como esperado, observa-se uma uniformidade ligeiramente menor em relação aos elementos móveis como Ca, K ou Mn e aos nutrientes (C, N, P).

Para além de uma elevada uniformidade espacial em cada lago, a química de ETR nos sedimentos é também uniforme entre os dois sistemas, refletindo uma elevada homogeneidade de sedimentação e semelhança de condições climáticas, características morfométricas e químicas e de fontes litológicas. Os sedimentos têm um teor total de ETR entre $61,6\text{--}89,4 \mu\text{g.g}^{-1}$ em Sabana Yegua e $58,2\text{--}96,2 \mu\text{g.g}^{-1}$ em Tavera, com coeficientes de variação (CV) de 9,9% e 14,3%, respectivamente. Ce, Nd e La são os elementos mais abundantes, sendo responsáveis por 70-75% do ΣETR (Fonseca *et al.*, 2021)

A uniformidade espacial foi também observada na distribuição das concentrações em profundidade (Fig. 1). As ligeiras variações que ocorrem estão relacionadas com a libertação de elementos móveis das camadas superiores para a coluna de água (por exemplo, Ca, Na, K) e com a correlação entre

elementos metálicos (Cu, Zn, Ni), nutrientes (N, P, C) e as condições redox dos sedimentos e da coluna de água. A homogeneidade geoquímica espacial e temporal dos sedimentos destes sistemas dominicanos contrasta com a heterogeneidade observada na maior parte dos lagos artificiais de outras regiões climáticas que mostram a influência de múltiplos fatores sobre a sedimentação inorgânica e orgânica. Estas influências são sobrepostas pelas condições climáticas extremas que se registam anualmente e que levam a elevadas taxas de lixiviação de partículas a partir das bacias e a um grande dinamismo hidrológico e sedimentar no interior dos lagos.

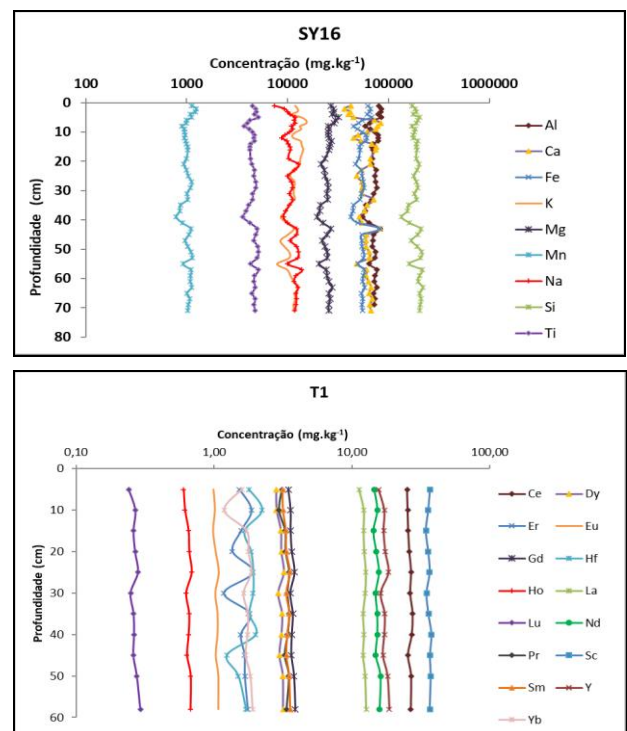


Fig. 1. Distribuição em profundidade dos teores de elementos maiores e terras raras nos sedimentos de amostras representativas de Sabana Yegua (SY) e Tavera (T).

Agradecimentos: As autoras agradecem o apoio financeiro de: (1) FONDOCyT (Ministerio de la Educación Superior, Ciencia y Tecnología de la República Dominicana - MESCyT) através do Proyecto "Aprovechamiento de los sedimentos de los embalses como nutrientes para la fertilización de suelos agrícolas en la República Dominicana", e (2) ICT, através do contrato com a FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia) - Projeto FCT—UIDB/04674/2020.

Referências

- Araújo, J., Nogueira, P., Fonseca, R., Pinho, C., & Araújo, A. (2019). Effects of geological and climatic conditions on the enrichment of nutrients in sediments accumulated in Tavera and Sabana Yegua tropical dam lakes (Dominican Republic). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 21, EGU2019-9352, EGU General Assembly 2019.
- Delanoy, R., Díaz-Asencio, M., & Méndez-Tejeda, R. (2019). Effect of Extreme Weather Events on the Sedimentation of the Bay of Samaná, Dominican Republic (1900–2016). *Journal of Geography and Geology*, 11(3), 56-73.
- Fonseca, R., Araújo, J.F., & Pinho, C. (2021). Importance of the Spatial Distribution of Rare Earth Elements in the Bottom Sediments of Reservoirs as a Potential Proxy for Tracing Sediments Sources. *Geosciences*, 11, 490.

Variações Sazonais das Concentrações de Radão no Ar Interior em Portugal Continental – Dados Preliminares

Seasonal Variations of Indoor Radon Concentrations in Mainland Portugal – Preliminary Data

H. Fonseca (1) e A. Pereira (2)

- (1) Agência Portuguesa do Ambiente, I. P. Lisboa, Portugal, heloisa.fonseca@apambiente.pt
(2) Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC), Coimbra, Portugal

Summary: *To study the pattern of seasonal indoor radon variation in mainland Portugal two surveys were carried out in 173 dwellings, one using passive detectors and the other with active detectors, for at least twelve consecutive months.*

The dwellings selected for this study had similar specific construction characteristics, for which the initial concentrations of radon are already known, and with the geographic location in each of the three climatic zones identified in Mainland Portugal according to the Köppen-Geiger classification.

The study of the influence of the monthly average outdoor air temperature and geology on the seasonal variation pattern was also evaluated.

To model the seasonal variations, the geometric mean radon concentration for each month was obtained and the seasonal variation model derived.

Key words: *Indoor radon, seasonal variations, seasonal pattern, climate zones.*

Palavras-chave: Radão no ar interior, variações sazonais, padrão sazonal, regiões climáticas.

O radão é um gás radioativo incolor e inodoro de origem natural proveniente do decaimento do U-238 presente nas rochas e nos solos. A concentração de radão é variável de local para local e está dependente da natureza geológica desse local e das concentrações dos seus radionuclídeos antecessores. O radão exalado do solo para a atmosfera é rapidamente dispersado e diluído apresentando-se em baixas concentrações no exterior. Em espaços interiores o radão pode transferir-se para o interior das habitações através de fissuras ou fendas no pavimento e nas paredes enterradas, pelas juntas entre o pavimento e a parede, pela canalização mal ou não isolada ou por difusão através das lajes do pavimento (WHO, 2009).

A distribuição da concentração de radão no interior das habitações evidencia uma forte variação diária e variação sazonal. No contexto diário, a concentração de radão é mais elevada durante a noite e no início da manhã derivado da redução da atividade humana, enquanto concentrações mais baixas ocorrem durante o dia. Sazonalmente, as concentrações são geralmente mais elevadas no inverno do que no verão. A pressão do ar ao nível do solo na maioria dos edifícios é ligeiramente inferior à pressão do ar exterior, uma vez que o ar interior é normalmente mais quente (IAEA, 2015). Isso faz com que o ar do solo contendo radão, através do efeito de chaminé, migre para o interior das habitações.

Além dos fatores geogénicos, a concentração no interior dos edifícios também depende de fatores antropogénicos como do tipo de construção e do uso do edifício. Estudos em vários países também identificaram a tipologia de região climática, a geologia e a temperatura do ar exterior como fatores determinantes e influenciadores das variações sazonais (Kozak et al., 2011; Yarmoshenko et al., 2021; Daraktchieva, 2017)

Os primeiros estudos nacionais sobre o radão no ar interior de edifícios surgiram na década de 80 do século passado. Inicialmente incidiram sobre o estudo dos níveis de radão no interior de habitações em regiões graníticas e mais tarde estenderam-se a todo o território de Portugal continental (Faísca, et al. 1992). Nas três décadas seguintes publicaram-se estudos abordando diversas temáticas embora, até aos dias de hoje, não se tenha realizado estudos nem a nível nacional nem na Península Ibérica sobre o padrão do comportamento sazonal do radão no interior de habitações. Alguns autores nacionais destacaram a observação das variações sazonais em contexto de monitorização pontual, mas sem uma quantificação precisa dessa variabilidade (Neves et al., 2009; Antão, 2014; Silva & Dinis, 2022).

A Agência Portuguesa do Ambiente e o Laboratório de Radioatividade Natural do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, reconhecendo a relevância científica e impacte na proteção da saúde das populações, desenvolveram

este estudo com o objetivo de identificar o padrão de variação sazonal nas concentrações de radão nas habitações, de determinar a forma como se comporta este padrão de variação sazonal nas diferentes zonas climáticas de Portugal, e também de identificar a proporção de edifícios que se desviam do padrão típico.

O estudo iniciou-se com a realização de duas campanhas de monitorização, uma com detetores passivos e outra com detetores ativos, que foram colocados em 173 habitações previamente selecionadas por terem características construtivas e localização geográfica apropriadas para este estudo.

A informação da Carta da Classificação Climática Köppen-Geiger para Portugal Continental (IPMA, 2000) foi utilizada para a seleção das habitações a monitorizar por permitir avaliar a influência das diferentes zonas climáticas no comportamento da sazonalidade das concentrações de radão no ar interior.

A geologia, como fator chave na grandeza dos níveis de concentração de radão no interior das habitações, permite correlacionar a importância da geologia nas variações sazonais das concentrações de radão, a existência e o grau de influência da geologia no padrão sazonal principalmente para edifícios que não exibem padrão sazonal ou têm um padrão sazonal inverso.

Os valores da temperatura média mensal, que variam regularmente durante o ano atingindo o valor

máximo no verão e o valor mínimo no inverno, têm um comportamento inverso à variação sazonal do radão, permitem caracterizar e dimensionar a correlação negativa da temperatura do ar exterior com as concentrações de radão.

Habitações com características similares no que respeita ao tipo de construção, apenas moradias até dois pisos, sem existência de cave, sem isolamento térmico, sem ventilação forçada, é uma nova abordagem inédita na temática do estudo das variações sazonais do radão. Ao manter estas características iguais em todas as habitações, que têm sido apontadas como as que têm mais impacto na variação dos níveis de radão no interior das habitações, pretendeu-se excluir ao máximo a influência destes fatores para permitir observar a real variação sazonal do radão.

Os dados obtidos das duas campanhas de monitorização possibilitaram modelar as variações sazonais, obteve-se a média geométrica da concentração de radão para cada mês e derivou-se o modelo de variação sazonal para as três zonas climáticas de Portugal continental.

Este estudo permite aumentar o conhecimento sobre o gás radão em Portugal, em particular sobre os fatores de controlo da distribuição espacial e transferência para o ar interior dos edifícios, contribuindo para uma eficaz proteção da população à exposição às radiações ionizantes.

Referências

- Antão, A. (2014). Assessment of Radon Concentrations Inside a High School Building in Guarda (Portugal): Legislation Implications and Mitigation Measures Proposed. *Procedia Earth and Planetary Science*.
- Daraktchieva, Z. (2017). New Correction Factors Based on Seasonal Variability of Outdoor Temperature for Estimating Annual Radon Concentrations in UK. *Radiat Prot Dosimetry*.
- Fáisca, M.C., Teixeira, M.G., & Bettencourt, A.O. (1992). Indoor Radon Concentrations in Portugal A National Survey. *Radiation Protection Dosimetry*.
- IAEA, I.A. (2015). Protection of the Public Against Exposure Indoors Due to Radon and Other Natural Sources of Radiation. IAEA.
- IPMA, I.P. (2000). IPMA - Normais Clima. Obtido de IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/?print=true>
- Kozak, K., Mazur, J., Kozłowska, B., Karpińska, M., Przylibski, T. A., Mamont-Cieśla, K., & Stawarz, O. (2011). Correction factors for determination of annual average radon concentration in dwellings of Poland resulting from seasonal variability of indoor radon. *Elsevier - Applied Radiation and Isotopes*.
- Neves, L., Barbosa, S., & Pereira, A. (2009). Indoor radon periodicities and their physical constraints: a study in the Coimbra region. *Journal of Environmental Radioactivity*.
- Silva, A., & Dinis, M. (2022). Assessment of indoor radon concentration and time-series analysis of gamma dose rate in three thermal spas from Portugal. *Springer - Environmental Monitoring and Assessment*.
- WHO. (2009). Handbook on Indoor Radon, A Public Health Perspective. Hajo Zeeb and Ferid Shannoun.
- Yarmoshenko, I., Malinovsky, G., Vasilyev, A., & Onishchenko, A. (2021). Seasonal Variation of Radon Concentrations in Russian Residential High-Rise Buildings. *Atmosphere*.

Acumulação potencial de elementos estratégicos em barragens mineiras – da remineração à reabilitação

Potential accumulation of strategic elements in mining dams - from remining to rehabilitation

P. Gomes (1), T. Valente (2) e M. Lemos (3)

- (1) Institute of Earth Sciences, Pole of University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal, patriciagomes@dct.uminho.pt
- (2) Institute of Earth Sciences, Pole of University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal
- (3) Institute of Earth Sciences, Pole of University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal; AngloGold Ashanti, Mining & Technical, COO International, 34000-000, Nova Lima, Brazil

Summary: *The Iberian Pyrite Belt, one of the largest metallogenic provinces in the world, presents numerous abandoned mining exploitations that were closed without or with inadequate environmental remediation. The extraction of base metals allowed mobilization and accumulation of large amounts of reactive wastes, triggering important environmental problems. In this context, the present study addresses the thematic of remining, assuming premises of rehabilitation and circular economy. The work focused one of the most paradigmatic mining complexes, the São Domingos mine. The methodological protocol was based on characterization of stream sediments. The results revealed an estimate of economic potential of accumulated sediments. These suggest the possibility of reuse of critical elements, such as Ag and Sc. The information contained in this work is intended to assist the competent authorities to build a recuperation strategy based on resources valorization the circular economy.*

Key words: *Mining sediments, drilling, remining, rehabilitation, circular economy*

Palavras-chave: Sedimentos mineiros, sondagens, remineração, reabilitação, economia circular

A anterior extração de metais desencadeou, um pouco por todo o mundo, a mobilização e acumulação de grandes quantidades de resíduos reativos, provocando problemas ambientais ao nível do solo, água e vegetação (Valente et al., 2012). Exemplo disso é a Faixa Piritosa Ibérica que apresenta inúmeras antigas explorações mineiras encerradas e abandonadas sem ou com parca proteção ambiental (Gomes et al., 2018). Contudo, atualmente a Europa encontra-se num período de crescente procura de matérias-primas, impulsionada pelas tecnologias e economias emergentes. Surge, portanto, a necessidade de provimento de metais de alta tecnologia, ingredientes indispensáveis na incorporação e desenvolvimento de produtos tecnologicamente sofisticados, muitas vezes intitulados “amigos do ambiente” (e.g., baterias a lítio, painéis solares), até equipamentos relacionados com a medicina, que contribuem para uma melhoria da qualidade de vida. Elementos metálicos, tais como o Cu, o Zn e o Sc, englobados nesta categoria de importância, são também essenciais para a manutenção dos níveis de desenvolvimento das sociedades atuais. É neste contexto, que se insere o presente estudo, abordando a possibilidade de remineração, numa perspetiva de reabilitação ambiental, mas também de economia circular.

O protocolo metodológico baseou-se na caracterização de sedimentos obtidos a partir de quatro sondagens, num dos mais paradigmáticos complexos mineiros portugueses – a mina de São Domingos, localizada na Faixa Piritosa Ibérica. Estas sondagens foram realizadas em barragens que sofreram fenómenos de colmatação e também nas linhas de água que drenam a área mineira (ribeira de São Domingos e ribeira de Mosteirão).

Os resultados revelaram a acumulação, em diferentes profundidades, de elementos químicos com elevado interesse económico (Tabela I), apesar dos teores serem baixos quando comparados com resíduos de barragens de lamas da indústria mineira ativa (Lemos et al., 2020). No presente caso, deve notar-se que se trata de amostras de material que sofreu transporte a partir das escombrelas e outras infraestruturas da mina abandonada. É expectável que nas escombrelas e pilhas de minério lavado estes valores sejam superiores.

Tabela I. Teores médios de elementos selecionados em cada sondagem (S1 a S4) e estimativa de volumes. * S1 (n=6); S2 (n=7); S3 (n=6); S4 (n=9).

Sondagens	S1	S2	S3	S4
Área Barragem (m ²)	17145	11081	3526	4860
prof. Sond (m)	1,0	1,3	1,0	1,8
Volume (m ³)	17145	14405	3526	8748
Cu (mg/kg)	709,33	181,71	249,67	184,11
Zn (mg/kg)	317,67	131,14	109,5	117
As (mg/kg)	2506,7	5611,7	535,62	518,56
Au (mg/kg)	144	62,3	83,0	62,0
Ti (%)	0,36	0,44	0,46	0,51
Ag (mg/kg)	6,22	3,01	2,47	1,91
Sb (mg/kg)	655,7	369,1	83,6	42,43
Σ(REE) (μg /kg)	113,8	149,5	192,6	204,4
Sc (μg/kg)	144,0	62,29	83,00	62,00
Co (mg/kg)	11,83	1,140	2,170	5,890
Mg (%)	0,26	0,22	0,24	0,32

A informação disponível refere que existem atualmente contratos de prospeção e pesquisa para as escombrelas, com potencial para o Au e Ag. A avaliação neste estudo reflete, portanto, um cenário mais pessimista, visto que, tal como referido anteriormente, esta avaliação refere-se a material que sofreu transporte. Ainda assim, destacam-se os teores de Ag e Sc, quando comparados com teores em jazigos (Rämä et al., 2018).

A Tabela II mostra a mineralogia das amostras de cada sondagem. Esta, sustentada pela bibliografia (Rämä et al., 2018), sugere que a jarosite pode ser uma potencial fonte de Ag (para além dos sulfuretos, nomeadamente a pirrotite). Verificou-se a possibilidade de aproveitamento de elementos críticos, tais como a Ag e o Sc, com teores a rondar entre 1.91 e 6.22 ppm para a Ag e 62 a 144 ppm para o Sc.

Esta avaliação, sugere, portanto, que seja encarada a viabilidade económica de remineração de alguns dos elementos químicos presentes nos sedimentos acumulados em barragens mineiras, à semelhança do que começa a acontecer noutras partes do mundo.

Tabela II. Abundância (%) média dos minerais identificados por DRX e estimativa de uma densidade global para a área das sondagens.¹

	Q	F	P	Mi	Cm	Pyr	Go	Jt	Si
S1	26,2	3,9	19,9	9,1	11,9	4,9	5,6	21,6	18,5
S2	30,4	3,7	31,9	9,9	6,7	2,5	1,9	18	
S3	49,6	7,7	17,1	6,5	5,9	1	5,5	13,1	
S4	42,9	8,7	19,2	9,7	6,9		2,7	12,8	
S5	52,8	5,8	9,2	7,8	9,6		6,2	12,8	
Média	40,4	6	19,5	8,6	8,2	2,8	4,4	15,6	18,5
A.N. (%)	32,6	4,8	15,7	6,9	6,6	2,3	3,5	12,6	14,9
Densidade	2,65	2,76	2,76	3	2,68	4,53	5	3,5	3,9
Densidade global no conjunto de sondagens - 3,12									

Referências

- Gomes, P., Valente, T. & Pereira, P. (2018). Addressing quality and usability of surface water bodies in a Mediterranean semi-arid region. *Environmental Processes*. <https://doi.org/10.1007/s40710-018-0329-0>.
- Lemos, M., Valente, T., Reis, P.M., Fonseca, R., Delbem, I., Ventura, J. & Magalhães, M. (2020). Mineralogical and Geochemical Characterization of Gold Mining Tailings and Their Potential to Generate Acid Mine Drainage (Minas Gerais, Brazil). *Minerals*, 11, 39. <https://doi.org/10.3390/min11010039>.
- Rämä, M., Nurmi, S., Jokilaakso, A., Klemettinen, L., Taskinen, P. & Salminen, J. (2018). Thermal Processing of Jarosite Leach Residue for a Safe Disposable Slag and Valuable Metals Recovery. *Metals*, 8, 744. <https://doi.org/10.3390/met8100744>.
- Valente, T., Gomes, P., Pamplona, J. & de la Torre, M.L. (2012). Natural stabilization of mine waste-dumps - Evolution of the vegetation cover in distinctive geochemical and mineralogical environments. *Journal of Geochemical Exploration*, 123, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.05.005>.

¹ Q=quartz; F=Feldspato; P=plagioclase; Mi=mica; CM=minerais de argila; Pyr= Pirrotite; Go=goethite; Jt = Jarosite; Si = Siderite. A.N.=abundância normalizada.

Variabilidade anual do gás radão no ar interior de espaços públicos

Annual variability of indoor radon gas air in public buildings

P. Guerra (1), J. Ribeiro (2,3), A. P. Cardoso (4), F. Domingos (5), G. Luís (6), A. Pereira (6)

- (1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra; paulafatimaguerra@gmail.com.
- (2) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra.
- (3) Instituto Dom Luiz.
- (4) Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Educação, CI&DEI.
- (5) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra; Instituto do Ambiente, Tecnologia e Vida.
- (6) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra; Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra.

Summary: Radon gas produced in the radioactive decay series of uranium present in rocks and soils may accumulate inside overlying buildings, deteriorating indoor air quality due to the increased risk of exposure to ionizing radiation. Since the area of Gouveia is classified as having a high susceptibility of exposure to radon, this work aims to determine the indoor radon concentration (IRC) of public buildings in this municipality. Measurements were made in 39 rooms in 4 different buildings with passive detectors (CR-39), over a year. The results reveal that the accumulation of radon inside the buildings depends on the nature of the geological materials occurring in the studied areas, the seasonality of climatic conditions, and structural characteristics of the buildings. The buildings with higher variability in IRC are those of older construction and with spaces mostly occupied by administrative services and support for teaching activities.

Key words: Natural radioactivity, indoor radium concentration, urban spaces, seasonality.

Palavras-chave: Radioatividade natural, concentração interior de radão, espaços urbanos, sazonalidade.

O radão (^{222}Rn) é um gás radioativo natural, que faz parte de cadeia de decaimento do urânio (U). Por esse motivo, os materiais geológicos, como as rochas e solos, que na sua constituição possuem U, são fonte natural de produção de radão. Apesar de ser um gás incolor e inodoro, a inalação de radão expõe os seres humanos a radiações ionizantes que são prejudiciais à saúde. O gás radão é atualmente reconhecido como um importante fator de risco ambiental, principalmente quando se encontra em concentrações elevadas no ar interior de edifícios.

A determinação das concentrações de radão no ar interior de edifícios escolares tem como objetivo investigar os padrões que possam resultar das variações da natureza geológica do subsolo, da sazonalidade e das características estruturais dos edifícios.

A área selecionada para estudo inclui o concelho de Gouveia, distrito da Guarda. A seleção desta área está relacionada com o facto de que, de acordo com o mapa de suscetibilidade ao radão publicado pelo Agência Portuguesa do Ambiente (disponível em www.apa.pt), esta região apresenta um índice de suscetibilidade de exposição ao radão elevado.

Na execução deste trabalho foram considerados quatro edifícios, estando três localizados na área

urbana de Gouveia e um na freguesia de Vila Nova de Tazem (a aproximadamente 10 km de distância dos edifícios em Gouveia). Os edifícios considerados neste estudo integram espaços com salas de aulas e serviços administrativos, para além de instalações utilizadas como cantinas, bares e outras de apoio às atividades letivas, incluindo pavilhões gimnodesportivos. A maioria dos edifícios é composta por rés-do-chão e 1º andar e apenas um edifício é composto por rés-do-chão e três andares superiores. Para a medição do radão no ar interior foram selecionados 34 locais de amostragem (N), distribuídos da seguinte forma: Vila Nova de Tazem - N = 9; Gouveia 1 - N = 9; Gouveia 2 - N = 12; Gouveia 3 - N = 4 detetores. Na seleção dos espaços consideraram-se locais com utilização mais intensa, quer para aulas, quer para serviços administrativos e de apoio às atividades letivas, e situados preferencialmente no rés-do-chão. Em cada local foram colocados de forma passiva detetores de estado sólido para traços nucleares (SSNTD) do tipo CR39, onde permaneceram durante três meses. A amostragem foi feita durante um ano (setembro 2021 - setembro 2022), perfazendo um total de 4 campanhas que acompanharam as variações sazonais.

Geologicamente, a área de estudo pertence à Zona Centro Ibérica (ZCI) do Maciço Ibérico. Na carta geológica de Portugal, à escala de 1:200 000, esta área está representada na folha 4 (Meireles, 2020). Na região de Gouveia reconhece-se a ocorrência predominante de rochas graníticas, inseridas na Província Uranífera das Beiras, Sub-província Uranífera das Beiras - Faixa Viseu-Tondela-Gouveia (Teixeira et al., 1967). São inúmeros os registos de ocorrência de depósitos de urânio na região, que foram explorados no passado.

Considerando a geologia local, os edifícios na área urbana de Gouveia estão assentes sobre substrato rochoso que inclui granito porfiróide, de grão grosso, essencialmente biotítico, ou por vezes, de grão grosso a médio, tardi-tectónico relativamente a D3, com ocorrência de megacristais de feldspato, que por vezes apresentam grande desenvolvimento (Teixeira et al., 1967; Meireles, 2020). Na área de Vila Nova de Tazem ocorre um granito essencialmente biotítico, porfiróide de grão médio a grosso ou médio a fino, tardi a pós-tectónico relativamente a D3, formando um afloramento de aspeto alongado a ocidente desta povoação. O contacto com o granito porfiróide de grão grosso que o rodeia é abrupto. Ocorre ainda nesta última região uma densa rede de filões quartzosos, orientados segundo a direção NE-SW (Teixeira et al., 1967; Meireles, 2020).

Os resultados mostram que a concentração de atividade de radão é bastante variável entre os diferentes edifícios, ao longo do ano e dentro do mesmo edifício (entre os diferentes locais de amostragem). Os valores médios em cada local de amostragem variam entre 279 e 1286 Bq/m³ no edifício de Vila Nova de Tazem, entre 80 e 324 Bq/m³ no edifício Gouveia 1, entre 146 e 1673 Bq/m³ no edifício Gouveia 2, e entre 113 e 179 Bq/m³ no edifício Gouveia 3.

A Fig. 1 mostra os valores médios obtidos nos diferentes edifícios estudados, em função das

campanhas de amostragem que decorreram ao longo de um ano.

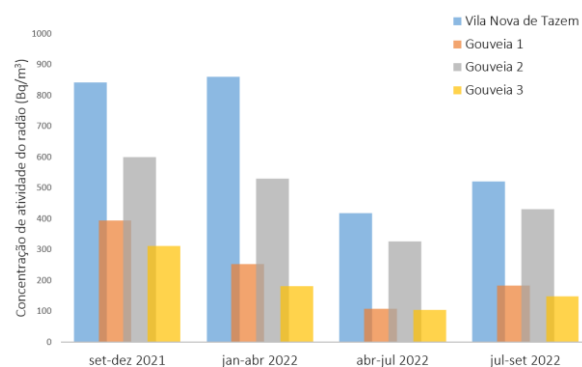


Fig. 1. Variação da concentração média de atividade do radão ao longo de um ano, nos diferentes edifícios amostrados.

Relativamente à variação da concentração de atividade de radão ao longo do ano, verifica-se que, como expectável, nos meses de outono e inverno que a acumulação do gás radão no ar interior é mais elevada, devido à menor ventilação e utilização de sistemas de aquecimento. Na primavera e no verão observa-se que, em média, a concentração é ca. 60% dos valores obtidos nos meses mais frios do ano.

As diferenças observadas entre os edifícios estudados podem ser, em parte, devidas à variabilidade natural do substrato geológico, uma vez que ocorrem rochas graníticas com características distintas. Por outro lado, também as diferenças estruturais dos espaços (relacionadas, por exemplo, com os métodos construtivos, sistemas de ventilação, materiais de construção) e o tipo de utilização que lhes é dado podem explicar a variabilidade entre edifícios e dentro de cada edifício. Os edifícios que apresentam maior variabilidade na concentração de gás radão são edifícios de construção mais antiga e que possuem espaços preferencialmente ocupados por serviços administrativos e de apoio às atividades letivas.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra pelo apoio e disponibilização dos meios necessários para a realização deste trabalho. Agradece-se o apoio financeiro dos projetos FSE CENTRO-04-3559-FSE-000142, UIDB/00611/2020 e UIDP/00611/2020. G.L. agradece o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia com fundos nacionais, através da bolsa de doutoramento UI/BD/151293/2021.

Referências

- Meireles, C. A. P. (Coord.). (2020). Folha 4 da Carta Geológica de Portugal, à escala 1/200 000. (1a Edição). Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa. ISBN: 978-989-675-080-0.
- Teixeira, C., Peres, A., Santos, J. P., Carvalho, L. H. B. de, & Barros, R. F. de. (1967). Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000 - Notícia Explicativa da Folha 17-D - Gouveia. Portugal: Serviços Geológicos de Portugal.

Dispositivos naturais de retenção e escoamento com influência no regime de cheias do Baixo Zambeze – Moçambique

Natural retention and flow devices with influence on the flood regime of the Lower Zambezi – Mozambique

A. Maloa (1), B. Gomes (2) e C. Barros (3)

- (1) Instituto Superior Politécnico de Gaza – Moçambique, maloaluisjoaquim@gmail.com
- (2) Lab2PT - Universidade do Minho, Gualtar, 4710-057 Braga Portugal
- (3) Mestrado em Ordenamento e Valorização de Recursos Geológicos – Universidade do Minho

Summary: *The ecosystems of the Zambezi River Basin in Mozambique provide various services and play a key role in regulating floods. The present study devotes some attention to the Marromeu Complex and the geology that sustains its ecosystems on the right bank of the river. Two groups of retention devices and river flow, influencing the flood regimes, were identified. Alveolar devices prevail in the altitude range, 75 to 42 m, with a global water storage of 800 000 m³/km². Polygonal devices predominate at lower elevations, 5 to 2 m, with a global storage of 400 000 m³/km². The preservation and conservation of these devices and the areas in which they proliferate are essential to regulate the pre-delta flow in flood regimes.*

Key words: *remote analysis, floods, devices, geomorphological units, zonography.*

Palavras-chave: *análise distanciada, cheias, dispositivos, unidades geomorfológicas, zonografia.*

Os ecossistemas da Bacia do rio Zambeze, em Moçambique, têm-se revelado importantes, pelo papel que desempenham na regularização de fluxos de água que, por sua vez, condicionam inundações recorrentes, as quais têm sido atribuídas a surtos de combinação peculiar entre eventos climatológicos extremos e a evolução geomorfológica progressiva e abrupta, em resposta a actividades antrópicas (Beilfuss & Santos, 2001). Os principais ecosserviços prestados pela bacia baixa, além da regularização dos fluxos hídricos, têm incidência especial na exploração agrossilvipastoril, ecoturística e cinegética. Os aproveitamentos antrópicos e a dinâmica dos assentamentos populacionais são afectados e também influenciam os registos históricos das cotas máximas de inundação (Silva, 2007).

O presente estudo, baseado em fotointerpretação, através do estudo de sedimentos quaternários e análise do registo de cheias, dedica uma maior atenção ao Distrito de Marromeu e à geologia que sustenta os ecossistemas na margem direita do rio. Aquí se situa a maior diversidade de formas geológicas, tipos litológicos, estruturas de sedimentação e indicadores impressivos de retenções e escorrências de superfície no sistema fluvial Zambeze. Surge assim o conceito de Complexo de Marromeu tendo sido possível compartimentar os terrenos ribeirinhos usando a distribuição de dispositivos de infiltração e drenagem que têm influência decisiva na manutenção de caudais e

funcionamento dos leitos vivos do escoamento. Recorrendo a imagens de satélite promoveu-se uma síntese zonográfica do Baixo Zambeze, que consta da figura 1 e considera a distribuição dos dispositivos de retenção e drenagem.

Entende-se como dispositivo, individual e unitário, de retenção e escoamento, a expressão geológica de uma forma superficial que decorre de evolução, condicionada por estruturas de deposição e sedimentação, tipos litológicos e estruturas à superfície e em profundidade e se manifesta em indicadores impressivos de retenção e escorrência.

Distinguem-se 2 tipos de dispositivos: (1) alvéolos – a função reguladora decorre da sua capacidade de armazenamento e, após enchimento, decorre do vazamento e tributação regularizada para o sistema de drenagem situado a jusante; (2) rede poligonal – o enchimento de polígonos rebaixados ocorre por transbordo a partir dos canais limite dos polígonos, mas também aqui se verifica uma tendência de atenuação dos débitos para os canais principais alimentados a partir da rede anastomosada.

Numa primeira aproximação, os dispositivos alveolares, prevalecem no domínio de cotas 75 a 42 m, correspondendo-lhe um volume de armazenamento global de água da ordem de 800000 m³/km². Os dispositivos poligonais prevalecem a cotas mais baixas, 5 a 2 m, e são responsáveis por um volume de armazenamento global, em polígonos

rebaixados, da ordem de $400000 \text{ m}^3/\text{km}^2$. As áreas de risco identificadas estão mais próximas dos canais principais (terrenos alagáveis na Fig. 1). Assim, é de realçar a necessidade de conservação dos domínios

alveolares e polygonais pelos serviços prestados à regularização dos regimes de cheia.

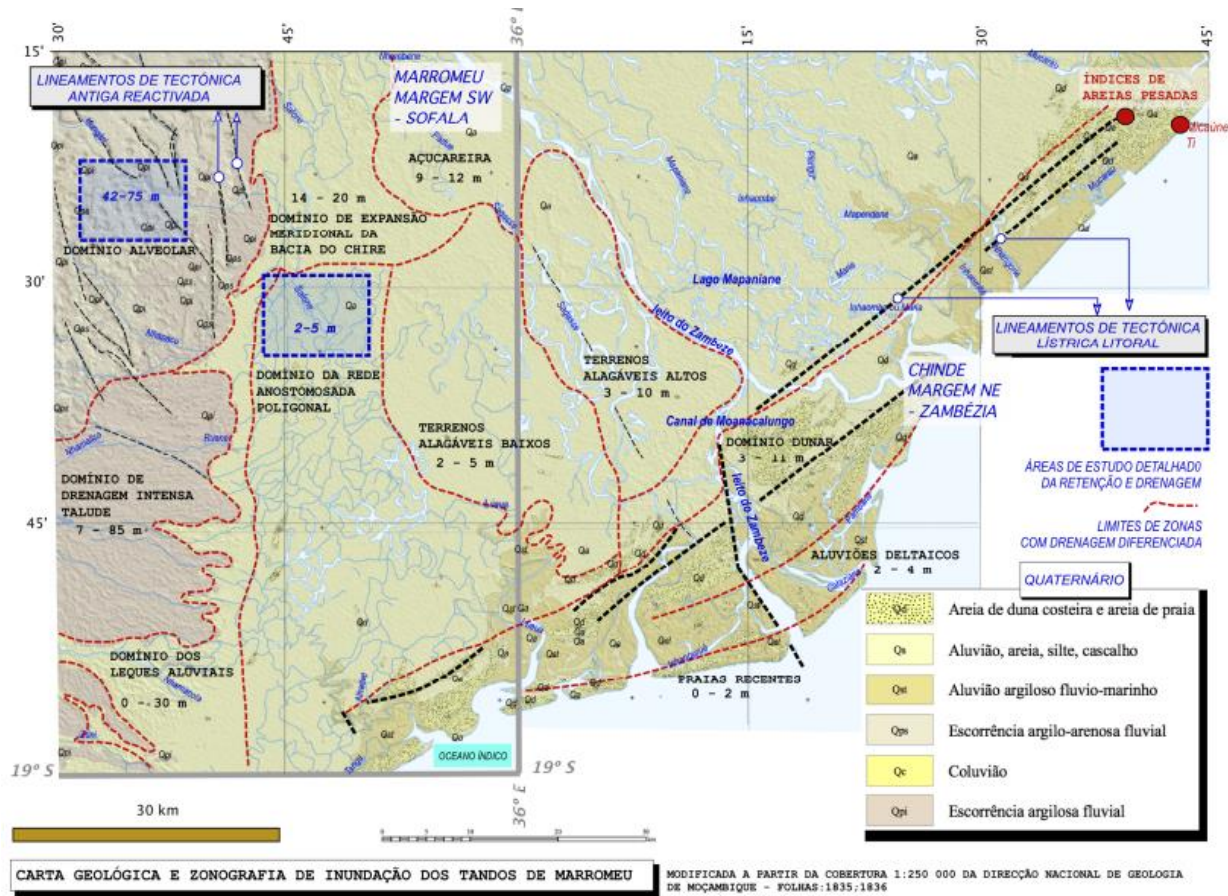


Fig. 1. Zonografia de distribuição dos domínios de drenagem diferenciada na margem esquerda do baixo Zambeze com a localização das áreas com dispositivos contrastantes, seu intervalo de altitudes característico e relação com estruturas atribuíveis a tectónica recente.

Agradecimentos: Ao Banco Mundial através do Projeto do Ensino Superior, Ciência e Tecnologia (HEST), pelo apoio financeiro e logístico.

Referências

- Beilfuss, R. & Santos, D. 2001. Patterns of hydrological change in the Zambeze Delta, Mozambique. Working paper 2, Program for the sustainable management of Cahora Bassa Dam and the Lower Zambeze Valley, 159 pp.
- Silva, H. (2007). Reflexões Sobre Aspectos Físicos, Sociais, Económicos e Ambientais da Bacia do Zambeze, Edição HCB.

Variação composicional dos solos do Cabo Mondego: uma ferramenta para estudos ambientais

Compositional variation of soils from Cabo Mondego: a tool for environmental studies

F. H. Michels (1), J. Ribeiro (2) e M. H. Henriques (3)

(1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra & Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, fernandohmichels@gmail.com.

(2) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.

(3) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra & Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

Summary: This work aims to determine the chemical composition of soils from Cabo Mondego area, allowing the establishment of the natural background and the identification of possible compositional variations arising from industrial activities that may have caused contamination. A total of 43 soil samples were collected near the abandoned industrial complex and another 7 in more distant areas, representing the regional background. The predominant pH is in the slightly alkaline range, which reflects the mineralogy of the local limestone rocks. The electrical conductivity data showed 5 samples from the vicinity of the industrial complex with values above the reference value from Portuguese Environmental Agency. The most abundant element is Ca, reflecting the local limestone rocks. A lithological control is pointed out in the spatial analysis, mainly for Fe, Al, Ti and S.

Key words: Natural Monument, background, elemental chemical composition, contamination.

Palavras-chave: Monumento Natural, fundo natural, composição química elementar, contaminação.

Os solos da região do Cabo Mondego, classificado como Monumento Natural em 2007 (Decreto Regulamentar n.º 82/2007), são excecionalmente relevantes do ponto de vista ambiental por ser um local de interesse natural e cultural único em Portugal e, por outro lado, por ter um longo histórico de atividades extrativas e industriais durante os dois últimos séculos.

Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é determinar a composição química dos solos na área do Cabo Mondego, o que permite estabelecer o fundo natural. Esse conhecimento permitirá identificar as variações composicionais naturais e as resultantes de atividades industriais que possam ter causado problemas de contaminação.

Foram coletadas um total de 50 amostras de solos superficiais, sendo 43 na área envolvente ao complexo industrial abandonado e 7 em áreas mais afastadas, representando o fundo regional (Fig. 1). A preparação das amostras incluiu secagem, crivagem para obtenção da fração inferior a 2 mm e moagem. Foram determinados o pH (ISO 10390, 2021), a condutividade elétrica (ISO 11265, 1994) e a composição química em elementos maiores, no laboratório Bureau Veritas Mineral Laboratories (Canadá).

Na Tabela I apresentam-se os valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão dos parâmetros determinados nas amostras de solo. Com base nos resultados obtidos, procurou-se reconhecer padrões

na composição química dos solos da área através de análise estatística e geoestatística.

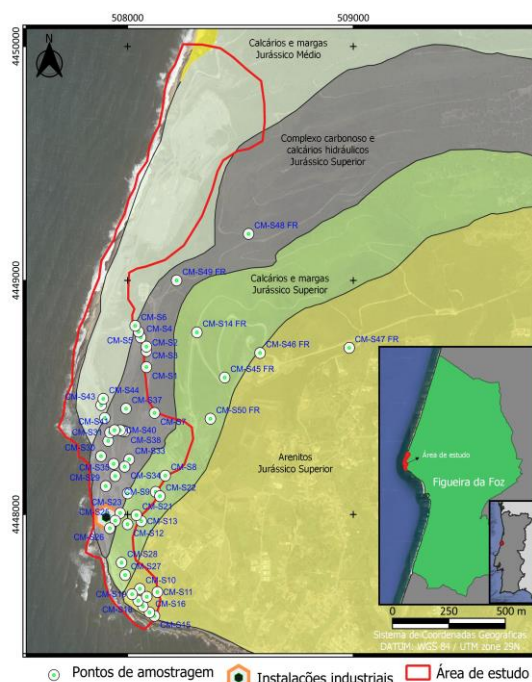


Fig. 1. Mapas de localização e da geologia da área de estudo, com identificação dos pontos de amostragem, com base na carta geológica de Portugal, folha 19-C (Figueira da Foz), escala 1/50.000 (modificado de Rocha et al., 1981).

Tabela I. Valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão de pH, condutividade elétrica (CE) e concentração de elementos maiores determinados nas amostras de solo.

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
------------	--------	--------	-------	---------------

pH	4,45	8,61	7,90	0,84
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	52,0	1627	369	360
Ca (%)	0,1	26,9	7,67	6,71
Al (%)	2,6	8,6	4,29	1,27
Fe (%)	0,5	5,0	1,89	0,81
K (%)	0,4	2,5	1,51	0,51
Mg (%)	0,08	0,57	0,35	0,12
Na (%)	0,07	0,55	0,22	0,11
Ti (%)	0,09	0,36	0,19	0,06
S (%)	0,04	1,04	0,14	0,16
P (%)	0,01	0,05	0,02	0,008

Os solos apresentam pH variando entre 4,45 e 8,61 (Tab. I), valores que se incluem na gama do ligeiramente alcalino a moderadamente alcalino (7,10 a 8,61), que foram registados em 45 amostras (90% do total), de toda a área amostrada. Valores na gama do ácido a neutro (4,45 a 7,00) foram obtidos em 5 amostras, que incluem 4 das amostras de fundo regional. De acordo com a classificação da FAO – Food and Agriculture Organization (Jahn *et al.*, 2006), os solos do Cabo Mondego classificam-se como fortemente ácidos a moderadamente alcalinos, sendo predominantemente ligeiramente alcalinos, o que reflete principalmente a composição mineralógica das rochas calcárias que compõem a geologia local.

Os dados de condutividade elétrica são indicadores da quantidade de espécies químicas solúveis nos solos e apresentam variações pouco significativas em grande parte das amostras. Os resultados variam entre 52 e 1627 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo que os valores mais baixos, entre 52 e 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$, foram medidos em 45 amostras (90% do total) de toda a área de estudo e nas amostras de fundo regional. Amostras com valores acima do valor de referência de solos da APA - Agência Portuguesa do Ambiente - de 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (APA, 2019) somam um total de 5. Estas amostras têm origem nas proximidades do complexo industrial. Dos elementos maiores determinados, a composição química dos solos incluiu concentrações acima de 1% de Ca, Al, Fe e K em grande parte das amostras,

seguida por concentrações inferiores a 1% de Mg, Na, Ti, S e P (Tab. I). O Ca é o elemento mais abundante, atingindo valores na faixa dos 20% em algumas amostras, o que reflete a geologia local onde predominam rochas calcárias.

A determinação dos coeficientes de correlação de Spearman evidenciou uma correlação positiva forte entre os elementos Al e Fe (0,90), Al e Ti (0,81), Ca e Mg (0,82), Ca e P (0,71), Fe e Ti (0,71) e Mg e P (0,70). Identificou-se, também, uma correlação negativa forte entre os elementos K e S (-0,70) e Ca e K (-0,67). O Al e o Fe apresentam valores representativos e fortemente correlacionados, sendo possível apontar um controlo da litologia na análise espacial com as maiores concentrações destes elementos medidas nas amostras da área mapeada como Complexo Carbonoso e Calcários Hidráulicos do Jurássico Superior. Cabe destacar que as amostras com maiores concentrações de Ti e S também estão concentradas na mesma litologia, apesar destes elementos estarem presentes em quantidades inferiores a 1%. Os demais elementos ocorrem em concentrações variáveis, sem um padrão espacial identificado para a área de estudo.

Os resultados obtidos neste trabalho relativos à caracterização química dos solos na área do Cabo Mondego contribuem para o aprofundamento do conhecimento sobre vulnerabilidades associadas ao Monumento Natural e que será muito útil na identificação de problemas ambientais decorrentes da atividade industrial do passado, assim como na requalificação da área abandonada onde se insere o complexo industrial. O conhecimento obtido permitirá a tomada de decisão informada e baseada em conhecimento científico, particularmente relevante no quadro do projeto Geoparque Atlântico atualmente em curso, e que visa a integração do território na Rede Mundial de Geoparques da UNESCO.

Agradecimentos: O autor F. Michels agradece o suporte financeiro da FCT, através da bolsa de investigação com referência 2021.06231.BD. Trabalho enquadrado nos projetos UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020 do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra (Portugal) financiado pela FCT, I.P. (Portugal).

Referências

- APA, Agência Portuguesa do Ambiente (2019). Solos Contaminados – Guia Técnico, Valores de Referência para o Solo. Lisboa.
- Decreto Regulamentar n.º 82/2007 de 3 de Outubro. Diário da República, 1.ª série — N.º 191. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa. 7091-7092.
- ISO 10390 (2021). Soil, treated biowaste and sludge - Determination of pH.
- ISO 11265 (1994). Soil quality - Determination of the specific electrical conductivity.
- Jahn, R., Blume, H.P., Asio, V.B., Spaargaren, O., Schad, P. (2006). Guidelines for soil description. FAO, Rome. 97 pp.
- Rocha, R.B., Mannupella, G., Mouterde, R., Ruget, C., Zbyszewski, G. (1981). Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal (esc. 1/50.000), folha 19-C (Figueira da Foz). Serviço Geológico de Portugal.

Avaliação do potencial dos maciços gabróicos do Alentejo para a carbonatação mineral de CO₂

Assessment of the potential of gabbroic rock massifs in Alentejo for mineral carbonation of CO₂

J. Pedro (1), J. Carneiro (2), P. Moita (3), E. Berrezueta (4), A. Araújo (2), F. Marques (5), C. Pinho (6) e H. Caeiro (6)

- (1) Instituto de Ciências da Terra e Dep. Geociências da Universidade de Évora, jpedro@uevora.pt
- (2) Instituto de Ciências da Terra e Dep. Geociências da Universidade de Évora
- (3) Laboratório HERCULES e Dep. Geociências da Universidade de Évora
- (4) Instituto Geológico y Minero de España
- (5) Laboratório Nacional de Energia e Geologia
- (6) Instituto de Ciências da Terra

Summary: *The InCarbon project assessed the potential of gabbroic rocks for CO₂ storage in Alentejo. Lab carbonation experiments were carried out on gabbroic rocks from the Sines and Odivelas massifs. After gabbroic samples exposure to supercritical CO₂-rich brine inside an autoclave, for 90 days, the XRD analysis reveals the presence of dolomite on sample surface, whereas the chemical mapping, by SEM-EDS, suggest a spatial association between carbon and magnesium (magnesite?). Despite the small amounts of carbonate precipitation projected by the geochemical modelling (Crunch Flow software), this technology should be more investigate and not discarded for in situ or ex situ mineral carbonation for small CO₂ emissions sources.*

Key words: *InCarbon, mineral carbonation, gabbros, Alentejo, geochemical tests*

Palavras-chave: InCarbon, carbonatação mineral, gabros, Alentejo, ensaios geoquímicos

O projeto InCarbon – “Carbonatação *in situ* para redução de emissões de CO₂ de fontes energéticas e industriais no Alentejo” avaliou o potencial de maciços gabróicos para o armazenamento de CO₂ no Alentejo. Este projeto foi motivado pelo reconhecimento da carbonatação mineral como uma tecnologia viável para o sequestro permanente de CO₂, comprovada pelo projeto CarbFix na Islândia (Matter et al., 2009), com a injeção de CO₂ em basaltos, e com a necessidade de se atingir a neutralidade carbónica até 2050.

Atualmente localizam-se no Alentejo fontes emissoras responsáveis por cerca de 30% das emissões de CO₂ em Portugal (Mesquita, 2020). Geologicamente, nesta região não há ocorrências significativas de basaltos, mas existem várias ocorrências de rochas básicas, tais como maciços gabróicos, sequências ofiolíticas e algumas sequências vulcano-sedimentares, ou seja, rochas com mineralogia e o quimismo requeridos para a carbonatação mineral. Das ocorrências de rochas básicas estudada no projeto InCarbon, selecionaram-se as duas ocorrências mais promissoras: o Maciço Ígneo de Sines e o Maciço Gabróico de Odivelas. A seleção destes maciços foi efetuada com base em critérios geológicos, constrangimentos

socioeconómicos e restrições ambientais (Pedro et al., 2020).

Para cada maciço foram selecionadas amostras de rochas gabróicas para a realização de testes laboratoriais de carbonatação mineral. As amostras selecionadas, após serem transformadas em provetes cúbicos, foram colocados no interior de um autoclave e expostas a uma salmoura saturada em CO₂ em fase supercrítica (80bar e 40°C), durante diferentes períodos de tempo (1 a 120 dias; Moita et al., 2020). Para avaliar a ocorrência de carbonatação mineral, os provetes e a salmoura foram analisados mineralógica e quimicamente por técnicas multi-analíticas, antes e após os testes laboratoriais de carbonatação.

Os primeiros testes foram realizados durante 1, 4, 16 e 64 dias, com a exposição de 8 provetes (cubos com 27 cm³) a 1500 cm³ de água hipersalina (recolhida na província de Andaluzia, Espanha) saturada com 330 cm³ de CO₂ dissolvido. Os resultados obtidos não foram promissores, pois não ocorreu precipitação de carbonatos, observando-se apenas precipitação de esmectite, halite e gesso na superfície dos provetes. (Moita et al., 2020)

Nos ensaios seguintes foram produzidas modificações, com vista a mimetizar reais condições de injeção e sequestro de CO₂, sem adição de

catalisadores para promover a precipitação mineral. Numa primeira fase, colocou-se dentro do autoclave 1550 cm³ de água do mar (recolhida na Costa Norte em Espanha) saturada com 350 cm³ de CO₂, em contacto com 100 cm³ de rocha fragmentada (1-2 mm) durante 30 dias. O objetivo foi induzir dissolução e produzir uma salmoura constituída por água do mar enriquecida em catiões. Parte desta salmoura (920cm³) foi posteriormente saturada com 30 cm³ de CO₂ e colocada em contacto com 1050 cm³ de provetes (cubos com 8 cm³), no interior do autoclave durante 90 dias. O objetivo foi induzir precipitação mineral e tentar replicar as condições de sequestro de CO₂, (Moita et al., 2022; Berrezueta et al., 2023). Após os 90 dias de ensaios de carbonatação, as faces dos provetes, onde são expectáveis ocorrerem as reações de interação rocha-salmoura, foram analisadas mineralógica e quimicamente. A análise por DRX mostrou a ocorrência de: clinopiroxena e plagioclase, representando a composição do gabro; halite representando a deposição de sais; e dolomite representando a precipitação de carbonato. O mapeamento químico, efetuado por SEM-EDS, nas faces dos provetes, mostrou uma associação espacial ente carbono e magnésio, sugerindo uma insipiente

cristalização de magnesite (Moita et al., 2022; Berrezueta et al., 2023).

Os resultados experimentais foram modelados geoquimicamente, com recurso ao *software Crunch Flow@*, para estimar os volumes de precipitação de minerais para períodos mais longos. As simulações para períodos superiores a 120 dias mostram precipitação de siderite, dolomite, caulinite e mesolite. No entanto, os volumes (0,040-0,4 %vol.) estimados para as fases neoformadas são bastante reduzidos (Berrezueta et al., 2023).

Apesar dos reduzidos volumes estimados para a precipitação de carbonatos, o facto de se detetar a ocorrência de dolomite em gabros após 90 dias de exposição a uma salmoura enriquecida e saturada em CO₂, argumenta favoravelmente à continuação da investigação desta tecnologia, para carbonatação mineral *in situ* ou *ex situ*, em particular na sua aplicação a fontes emissoras de CO₂ de pequena escala.

Agradecimentos: Os autores agradecem o apoio da FCT através do Projeto InCarbon - Carbonatação *in situ* para redução de emissões de CO₂ de fontes energéticas e industriais no Alentejo (PTDC/CTA-GEO/31853/2017)

Referências

- Berrezueta, E., Moita, P., Pedro, J., Abdoulghafour, H., Mirão, J., Beltrame, M., Barrulas, P., Araújo, A., Caeiro, M., Lopes, L., Carneiro, J. (2023). Laboratory experiments and modelling of the geochemical interaction of a gabbro-anorthosite with seawater and supercritical CO₂: a mineral carbonation study. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. Submetido para publicação.
- Mesquita, P. 2020. D2.4, WP2 database report. Strategy CCUS, Évora.
- Matter, M., Broecker, W.S., Stute, M., Gislason, S.R., Oelkers, E.H., Stefánsson, A., Wolff-Boenisch, D., Gunnlaugsson, E., Axelsson, G. Björnsson, G. 2009. Permanent Carbon Dioxide Storage into Basalt: The CarbFix Pilot Project, Iceland. *Energy Procedia*, 1::1. doi.org/10.1016/j.egypro.2009.02.160
- Moita, P., Berrezueta, E., Abdoulghafour, H., Beltrame, M., Pedro, J., Mirão, J., Miguel, C., Galacho, C., Sitzia, F., Barrulas, P., Carneiro, J., 2020. Mineral Carbonation of CO₂ in Mafic Plutonic Rocks, II—Laboratory Experiments on Early-Phase Supercritical CO₂-Brine-Rock Interactions. *Appl. Sci.*, 10: 5083; [doi:10.3390/app10155083](https://doi.org/10.3390/app10155083)
- Moita, P., Berrezueta, E., Abdoulghafour, H., Beltrame, M., Mirão, J., Ribeiro, C., Barrulas, P., Pedro, J., Carneiro, J. (2022). Mineralogical and chemical changes induced by experiments of interaction between supercritical CO₂ and plutonic mafic rocks. A case study in Portugal., EGU General Assembly Vienna, Austria, EGU22-5158, doi.org/10.5194/egusphere-egu22-5158, 2022.
- Pedro, J., Araújo, A., Moita, P., Beltrame, M., Lopes, L., Chambel, A., Berrezueta E., Carneiro, J., 2020. Mineral Carbonation of CO₂ in Mafic Plutonic Rocks, I—Screening Criteria and Application to a Case Study in Southwest Portugal. *Appl. Sci.*, 10: 4879. doi.org/10.3390/app10144879

Seasonal comparison of Road Dust physicochemical characteristics in an urban area

Comparação sazonal das características físico-químicas da poeira de estrada numa área urbana

S. Pereira (1,2), M. Carvalho (1), H. Ribeiro (1,2) and A. Guedes (1,2)

- (1) Department of Geosciences, Environment and Spatial Plannings of the Faculty of Sciences, University of Porto, Porto, Portugal
- (2) Earth Sciences Institute, Pole of the Faculty of Sciences, University of Porto, Porto, Portugal

Sumário: A poeira de estrada pode ser um meio valioso para caracterizar a qualidade ambiental em áreas urbanas. Uma caracteriza o detalhada desta poeira, de acordo com a localiza o, distribui o granulométrica, composi o química, origem e potenciais riscos ecotoxicológicos e humanos pode ser muito útil para avaliar um ambiente urbano. Um maior interesse deve ser dado   fra o de tamanho inferior a 25 m, potencialmente inalável quando ressuspensa no ar. Este estudo visou uma caracteriza o sazonal de algumas propriedades físico-química da poeira de estrada através da análise da distribui o granulométrica, cor, suscetibilidade magnética e composi o química avaliado por XRF. Foi possível observar uma varia o sazonal em valores absolutos nas propriedades quantificadas e concentra o de elementos potencialmente tóxicos nas fra o de granulometria menor (< 25  m).

Palavras-chave: Poeira da Estrada, Suscetibilidade Magnética, Fluorescência de Raios-X, Distribui o Granulométrica, Espectrofotometria.

Keywords: Road Dust, Magnetic susceptibility, X-ray fluorescence, Particle size distribution, spectrophotometry.

Air quality is a topic of great concern given the increasing global trend of urbanization, which has led to rising levels of pollutants in the air with consequences for human health. Road dust can be a valuable means to characterize environmental quality in urban areas since it reflects the accumulation of solid particles, organic and inorganic compounds, on external surfaces of the soil, with various sources, such as soil erosion, atmospheric deposition, and anthropic activities, such as industrial, urban and traffic-related. Potentially toxic elements can be associated with road dust. A detailed characterization of these dust, according to the location, size distribution, chemical composition, origin and potential ecotoxicological and human risks, can be very useful for evaluating an urban environment.

Dust sampling was carried out in a major sideroad near the Faculty of Sciences of the University of Porto, following a seasonal approach. For that, samples were collected in July and October 2021, corresponding to summer and autumn samples, and in January and April 2022, winter and spring, in a biweekly collection. The main goal of our study was the seasonal characterization of road dust, aiming to detect similar/different trends. Each dust sample was

divided using the cone method, sub-sampled, and analyzed for particle size distribution. In each size fraction, comprehended between 1mm and smaller than 25 m, the magnetic susceptibility (SM) was determined using a benchtop suscetibilimeter, colour analysis corresponding to the CIELAB system (L*a*b*) using a spectrophotometer and chemical composition by X-ray fluorescence using a portable X-ray spectrometer.

The results reveal that the coarser fractions were dominant, with sizes comprehended between 1mm and 250  m, through all seasons. However, the finer fractions, with less representativeness in mass, showed higher inter-sample variability.

Analyzing the colour parameters corresponding to the CIELAB system (L*a*b*), low inter-sample variability in the L* and a* parameters was observed, comparing all seasons with a non-clear tendency. And considering parameter b*, there is low intra-sample variability with no significant difference between seasons.

The magnetic susceptibility values (SM) present an increasing trend at the finer granulometric fractions, with maximum average values found at the fraction

inferior to 25 μm , with July, representing summer, being the exception.

The most predominant chemical elements in the dust were calcium, iron, potassium and titanium, always increasing in concentration towards the finer granulometric fractions. Some potentially toxic elements such as chromium, copper, manganese, nickel, lead, and zinc were also found. These elements were found more concentrated in the finer fractions, generally with maximum concentration in the group of particles smaller than 25 μm . This correlates with the magnetic susceptibility values (SM), which follow a similar trend as the elemental analyses, increasing as the particle size decreases. This smaller size fraction (<25 μm), potentially inhalable when resuspended in the air, is the most

relevant from the point of view of protection of human health and was where the potentially toxic elements were found in higher concentrations and where SM values were high.

This study allowed us to improve our knowledge of dust characteristics in a seasonal approach. Some specific seasonal features may affect the composition and hazard of road dust, and it was possible to observe that some parameters, such as the chemical elements and the magnetic susceptibility, had a slight season variation, not so much in terms of trends but in terms of absolute values, being of great interest to verify whether this would remain seasonally stable in a second-year sampling.

Acknowledgments: This work was funded by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), within the scope of the ICT project with the references UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020 and the Doctoral Scholarship of Sónia Gonçalves Pereira UI/BD/ 150862/2021.

Separação de resíduos de cobre e plástico por processos gravíticos e flutuação por espumas

Separation of copper and plastic waste by gravity processes and froth flotation

F. Pita (1)

(1) Centro de Geociências (CGEO), Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia. fpita@dct.uc.

Summary: *The worldwide production of waste electrical and electronic equipment (WEEE) has increased sharply in recent decades. A wide range of metals, plastics and other substances are contained in WEEE. This work aims to study the separation of copper and plastic of the electrical cable waste by jigging, shaking table and froth flotation. Waste electrical cable was previously crushed to a size of less than 2 mm. It was possible to enrich the copper content from 49,7% in the feed to about 98% in the product in a jigging separation and table shaking with over about 98% recovery of copper. Although froth flotation showed lower separation efficiency than the other two methods, it also allowed obtaining good results, concentrate with copper content of 95% at copper recovery of 95%.*

Key words: *Electric cable, copper, jigging, shaking table, froth flotation*

Palavras-chave: Cabo eléctrico, cobre, jigagem, mesa oscilante, flutuação por espumas

Nas últimas décadas a produção mundial de resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE) tem aumentado acentuadamente, tendo atingido o valor de 57,4 MT em 2021 (Roy et al., 2022). Estes resíduos incluem grande variedade de equipamentos em fim de vida, como, computadores, telemóveis, eletrodomésticos, televisões, etc. Embora sejam considerados resíduos eles são uma enorme fonte de recursos, pois contém muitos metais, desde metais ferrosos a metais preciosos e metais de terras raras. Apesar de terem um grande potencial para serem valorizados, em 2021 apenas cerca de 18% dos REEE produzidos mundialmente foi recolhido e reciclado. A reciclagem de metais dos REEE, tem vantagens significativas, como a preservação dos recursos naturais, menor consumo de energia, diminuição de resíduos depositados em aterro e seus impactes no meio ambiente. O cobre é um dos principais metais existente nos REEE, e é também um dos metais mais reciclados.

A produção mineira mundial de cobre tem aumentado cerca de 3% ao ano, atingindo 21,5 Mt em 2021, sendo o Chile o maior produtor (5,6MT), seguindo-se-lhe o Peru (2,4 Mt) (ICSG, 2022). A produção mundial de cobre refinado atingiu o seu máximo em 2021, com 24,8Mt, sendo de 4,1Mt a contribuição da reciclagem de produtos em fim de vida, denominada produção secundária. Em resultado das suas propriedades, maleável, dúctil, excelente

condutor de calor e electricidade, baixa reatividade química, resistência à corrosão, o cobre tem múltiplas utilizações. Os principais usos são: equipamentos (32%), construção civil (28%), infra-estrutura (16%), transporte (12%) e indústria (12%) (ICSG, 2022).

A reciclagem de metais dos REEE requer a separação e recuperação dos metais existentes, a sua separação entre si e a separação de outros constituintes ali existentes. Neste sentido, nos últimos anos têm sido realizados estudos sobre aplicação de métodos de separação amplamente usados na indústria mineira. Esses métodos incluem a aplicação de métodos gravíticos, magnético e, electrostático e flutuação por espumas (Sarvar et al., 2015; Ruan and Xu, 2016; Pita and Castilho, 2018).

No presente estudo pretende-se separar o cobre do material isolante (plástico) de cabos eléctricos por processos gravíticos, em jiga e em mesa, e por processo de flutuação por espumas. O método gravítico baseia-se na diferente densidade dos materiais a separar e a flutuação por espumas baseia-se no diferente grau de hidrofobicidade. Usou-se cabo eléctrico já previamente triturado, com calibre inferior a 2 mm. A generalidade do cobre e o do plástico estava liberto. A densidade do cobre, medida em Ultra Picnómetro (AccuPyc 1330), é de 8,84 g/cm³ e a densidade do plástico é de 1,34 g/cm³. O teor em cobre é de 40,8% e em plástico de 59,2%. O calibre das partículas influencia o teor em cobre e em

plástico. A crivagem e determinação do conteúdo em cobre e plástico de cada lote permitiu verificar que no lote mais grosseiro (1,4/2 mm) que representava 18% do peso do material, a percentagem em cobre era muito pequena, de apenas 0,35%. O cobre está “concentrado” sobretudo nos calibres mais finos. Uma simples operação de crivagem, com corte a 1,4 mm permitiu separar a fracção grosseira, constituída fundamentalmente por plástico. Assim apenas foi submetido aos três processos de separação o material com calibre inferior a 1,4 mm, que apresenta um teor em cobre de 49,7%.

Para os três métodos de separação variou-se um conjunto de parâmetros que influenciam a qualidade de cada um deles. Na jigagem analisou-se o efeito do caudal de água; na mesa analisou-se o efeito do caudal da água de lavagem e da inclinação da mesa; na flutuação por espumas analisou-se o efeito do tipo e concentração de depressor de cobre. Na Tabela I apresentam-se os melhores resultados obtidos em cada um daqueles três métodos.

Na jigagem a recuperação do cobre no afundado diminuiu com o caudal de água, mas a recuperação de plástico no flutuado aumentou com esse caudal. A melhor separação foi obtida para um caudal intermédio (3L/min), obtendo-se um afundado com um teor em cobre de 97,9% e uma recuperação de 97,8%. No flutuado foi recuperado 98% do plástico (Tabela I).

Na mesa a recuperação do cobre no concentrado diminuiu com o aumento do caudal de água de lavagem e com a inclinação da mesa. O plástico teve um comportamento oposto, a recuperação de plástico na zona do estéril aumentou com o aumento do caudal de água e com a inclinação da mesa. A separação de melhor qualidade foi obtida para valores intermédios do caudal de água de lavagem (4,5 L/min) e da inclinação da mesa (5,5°). Nestas

condições obteve-se um concentrado com um teor em cobre de 97,5% e uma recuperação de 96,6%.

Como o cobre apresentava algum comportamento hidrofóbico, saindo algum na zona da espuma no processo de flutuação por espumas, foi necessário testar alguns reagentes molhantes do cobre a fim de promover a sua depressão e conseqüente recolha no afundado. Testes com cinco potenciais agentes molhantes do cobre (dicloridrato de etilenodiamina, amido, metabissulfato de sódio, ácido meso-2,3-dimercaptosuccínico e sulfeto de sódio), permitiram verificar que estes dois últimos promoveram as separações mais selectivas, levando à depressão de quase todo o cobre e tendo muito pouca influência da flutuabilidade do plástico. O meso-2,3-dimercaptosuccínico e o sulfeto de sódio conduziram a resultados similares. Para uma concentração de sulfeto de sódio de 10^{-1} mg/L, obteve-se um afundado com um teor em cobre de 95% e uma recuperação de cobre de cerca de 95%, e um flutuado com teor em plástico de 95,1% e uma recuperação de plástico de 95,1% (Tabela I).

Tabela I. Resultados da separação por jiga, mesa e flutuação.

Tamanho (mm)	Afundado (%)		Flutuado (%)	
	Recuperação Cu	Teor Cu	Recuperação Plástico	Teor Plástico
Jiga	97,8	97,9	98,0	97,8
Mesa	96,6	97,5	97,6	96,7
Flutuação	95,0	95,0	95,1	95,1

A separação da mistura cobre/plásticos na mesa e na jiga apresenta bons resultados, ligeiramente melhores do que a separação na flutuação por espumas. Apesar da flutuação por espumas apresentar menor qualidade de separação, os três métodos mostram potencialidades para serem usados na separação de mistura de cobre com plástico.

Referências

- (ICSG) International Copper Study Group. (2022). The World Copper Factbook 2022. <https://icsg.org/copper-factbook/>.
- Pita, F., & Castilho, A. (2018). Separation of copper from electric cable waste based on mineral processing methods: A Case Study. *Minerals*, 8(11), 517.
- Roy, H., Rahman, T., Suhan, B.K., Al-Mamun, R., Haque, S., Islam, S. (2022). A comprehensive review on hazardous aspects and management strategies of electronic waste: Bangladesh perspectives. *Heliyon*, 8, e09802.
- Ruan J., & Xu, Z. (2016). Constructing environment-friendly return road of metals from e-waste: Combination of physical separation technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54: 745-760.
- Sarvar, M., Salarirad, M., Shabani, M. (2015). Characterization and mechanical separation of metals from computer printed circuit boards (PCBs) based on mineral processing methods. *Waste Management*, 45:246-257.

Separação gravítica de mistura de plásticos

Gravitic separation of mixture plastics

F. Pita (1)

(1) Centro de Geociências (CGEO), Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, fpita@dct.uc.

Summary: *This work aims to study the separation of the mixture of four plastics (PS, PMMA, PVC and PET) by sink-float and froth flotation. In sink-float separation, aqueous sodium chloride solution and aqueous ammonium nitrate solution were used. Sink-float method allowed almost perfect separation of less dense plastic (PS) from intermediate density plastics (PMMA and PVC) and from high density plastic (PET), obtaining an almost pure PS float, containing only some PVC. Sink-float also allowed selective separation of intermediate density plastics (PMMA and PVC) from high density plastics (PET). As PMMA and PVC have similar density, their separation was carried out by froth flotation, using sodium lignosulphonate as a selective wetting agent of PVC, allowing a separation efficiency of about 85%.*

Key words: *Plastics, separation, sink-float, froth flotation*

Palavras-chave: Plásticos, separação, meios densos, flutuação por espumas

Os plásticos, em resultado do seu baixo preço, versatilidade e excelentes propriedades, são um dos materiais mais presentes no nosso quotidiano. A sua produção mundial tem aumentado continuamente, atingindo 391 milhões de toneladas em 2021, valor que contrasta com as cerca de 1,5 milhões de toneladas produzidas em 1950 (PlasticsEurope, 2022). Em resultado do aumento do seu consumo, também a produção de resíduos de plásticos tem aumentado. Nas últimas duas décadas os resíduos plásticos duplicaram, passando de 155 milhões de toneladas em 2000 para cerca de 360 milhões de toneladas em 2020. Este acentuado aumento deve-se não apenas ao aumento do consumo mas também ao facto de cerca de dois terços dos plásticos terem uma vida relativamente curta. Apesar das múltiplas utilizações, da contribuição dos plásticos para a qualidade de vida, o abandono de grande parte dos resíduos de plásticos, os milhões de toneladas de resíduos que anualmente se acumulam nos oceanos têm conferido aos plásticos uma reputação negativa, começando a haver forte pressão pública e publicação de legislação que restringe o seu uso.

Os resíduos de plásticos devem ser encarados não como algo sem qualquer valor, mas sim como um recurso, devendo ser utilizado como matéria-prima para a produção de um novo produto. Apesar da importância da sua reciclagem, em 2019, apenas cerca de 9% dos resíduos plásticos mundiais foram reciclados, enquanto que 19% foram incinerados, quase 50% foram depositados em aterro sanitário e os restantes 22% foram descartados em lixões não

controlados, queimados a céu aberto ou abandonados no meio ambiente (OECD, 2022). Na União Europeia, em 2020, 35% dos resíduos de plástico foram reciclados, 42% incinerados e 23% depositados em aterros. Em Portugal, no mesmo ano, 32% foram reciclados, 35% incinerados e 33% depositados em aterro sanitário (PlasticsEurope, 2022).

Embora a reciclagem dos resíduos de plásticos seja a solução ambiental e economicamente mais correta, trata-se de uma operação desafiante, pois para que os plásticos possam ser reciclados, eles têm de ser separados dos outros tipos de resíduos e os vários tipos de plásticos também têm de ser separados entre si. Separar misturas plásticas não é uma tarefa fácil, pois existem muitos tipos de plásticos e a maioria deles possui propriedades semelhantes. Nas últimas décadas têm sido realizados estudos sobre a possibilidade de separar misturas de plásticos através de métodos usados no tratamento de minérios. Desses métodos, salienta-se a separação gravítica (Quinn et al., 2016; Quelal et al., 2022), que se baseia na diferente densidade dos plásticos, e a flutuação por espumas que se baseia na hidrofobicidade dos plásticos (Pita e Castilho, 2017).

Neste trabalho analisou-se a separação de uma mistura de quatro plásticos (PS, PMMA, PVC e PET) pela combinação do método de meio denso (gravítico) e da flutuação por espumas. Usou-se plástico granulado com calibre entre 1,0 mm e 5,6 mm. Os plásticos analisados têm as seguintes

densidades: PS-1,047 g/cm³, PMMA-1,204 g/cm³, PVC-1,209 g/cm³, PET-1,364 g/cm³.

Na separação em meio denso os plásticos foram colocados num meio (solução aquosa ou polpa) de densidade intermédia, onde os plásticos mais densos afundaram e se separam dos menos densos, que flutuaram. Para a separação gravítica foram utilizados dois meios de separação: solução aquosa de cloreto de sódio e solução aquosa de nitrato de amónio. Uma vez que os plásticos são naturalmente hidrófobos, para a sua separação por flutuação por espumas, foi usado o lignosulfonato de sódio como agente molhante selectivo.

Verificou-se que na separação em meio denso a recuperação no flutuado dos quatro plásticos diminuiu com o aumento da densidade do meio e com o aumento do tamanho das partículas. Nos plásticos homogéneos, há uma variação drástica da recuperação no flutuado versus densidade do meio, sendo estes plásticos mais fáceis de separar. A hidrofobicidade dos plásticos também influencia a recuperação no flutuado, pois ocorre ligação de microbolhas a esses plásticos, condicionando o seu comportamento.

O sucesso da separação em meio denso de misturas de plásticos depende da diferença de densidade dos plásticos e da densidade do meio denso. No entanto, este método não exigiu grande diferença de densidade entre os plásticos da mistura. A densidade ideal do meio deve ser apenas ligeiramente superior à densidade do plástico menos denso. Em algumas misturas, a separação melhorou com o aumento do tamanho das partículas e também foi melhor quando o plástico a flutuar tem maior hidrofobicidade do que o plástico a afundar.

Em face das propriedades dos quatro plásticos e do seu comportamento nos dois processos de separação, na Fig. 1 representa-se o conjunto de

operações a que a mistura foi sujeita de modo a obter produtos enriquecidos em cada um dos plásticos.

Para a mistura de plásticos constituída por plástico de menor densidade (PS) por plásticos de densidade intermédia (PMMA e PVC) e por plástico de maior densidade (PET), a separação em meio denso, com densidade de 1,12 g/cm³, foi quase perfeita, todo o PMMA e todo o PET afundou, apenas 11% do PVC flutuou juntamente com todo o PS. A separação em meio denso, com densidade de 1,23 g/cm³, permitiu a separação perfeita dos plásticos de densidade intermédia (PMMA e PVC) do plástico de maior densidade (PET), pois todo o PET afundou e todo o PMMA e PVC flutuou.

O método do meio denso não permitiu a separação da mistura PMMA/PVC, pois estes dois plásticos têm densidade similar. A flutuação por espumas, com adição lignosulfonato de sódio como agente molhante do PVC, permitiu uma separação de qualidade razoável daqueles dois plásticos.

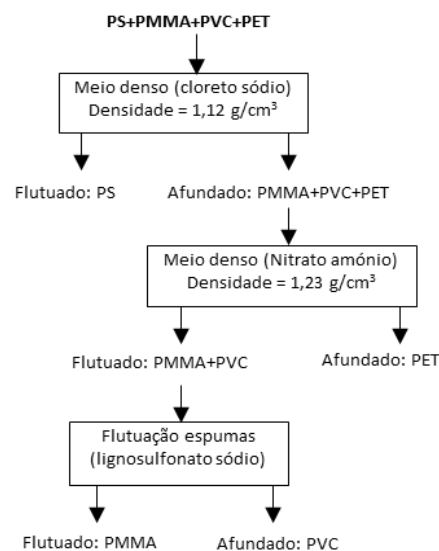


Fig. 1. Fluxograma de separação da mistura de plásticos por meios densos e por flutuação por espumas.

Referências

- OECD (2022). Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options, OECD Publishing, Paris
- PlasticsEurope (2022). Plastics - the facts 2022. *An analysis of european plastics production, demand and waste data*. Brussels, Belgium.
- Pita, F., & Castilho, A. (2017). Separation of plastics by froth flotation. The role of size, shape and density of the particles. *Waste Management*, 60, 91-99.
- PlasticsEurope (2022). Plastics - the Facts 2022.1. An analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. Brussels, Belgium.
- Quelal, W. M., Martí B. V., & Gisbert, A. F. (2022). Separation of virgin plastic polymers and post-consumer mixed plastic waste by sinking-flotation technique. *Environmental Science and Pollution Research*, 29:1364-1374.
- Quinn, B., Murphy, F., & Ewins, C. (2016). Validation of density separation for the rapid recovery of microplastics from sediment. *Analytical Methods*, 9, 1491-1498.

Efeitos ecotoxicológicos de lixiviados das escombrelas da mina do Fojo (Pejão, Norte de Portugal) em espécies-modelo aquáticas

Ecotoxicological effects of Fojo mine coal waste elutriate from (Pejão, North Portugal) in standard aquatic species.

A. Rajnauth (1), B.S. Diogo (2), J. Espinha Marques (3), D. Flores (3) e S.C. Antunes (4)

- (1) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território e Instituto de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 4169-007 Porto, up201912339@edu.fc.up.pt
- (2) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e CIIMAR - Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental
- (3) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território e Instituto de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 4169-007 Porto
- (4) CIIMAR - Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental, Departamento de Biologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Summary: Douro Coalfield has approximately 20 coal waste piles without adequate environmental management. In 2017, the Fojo mine waste pile started burning after a wildfire event. The main goal of this study was to assess the ecotoxicological effects of leached self-burning coal waste at the Fojo waste pile with standard species. For this purpose, 25 soil samples from coal waste and soil were collected: burned (EA) covered with a lithic material (EAC), unburned (ENA), and mixed (EE); soil uphill (B) and downhill (SJ). Soil physical and chemical characterization was measuring: pH, electrical conductivity, organic matter content (OM) and water holding capacity (WHC). Soil elutriates were performed for conduct bioassay with aquatic species: *Aliivibrio fischeri*; *Lemna minor* and *Daphnia magna*. Results showed high WHC in EAC; high pH and OM at ENA. *A. fischeri* showed high toxicity after exposure of all soil elutriates, especially for EAC and EA. *L. minor* showed growth inhibition for elutriates from ENA5 and B soils (85%). *D. magna* was the less sensitive species; however, 100% mortality was observed for ENA5 and B1 soil elutriates.

Key words: Coal waste, bioassay, Ecotoxicology, elutriates, Douro Coalfield

Palavras-chave: Resíduos de carvão, bioensaios, ecotoxicidade, elutriados, Bacia Carbonífera do Douro

A deposição de resíduos da atividade mineira do carvão representa um risco para o ambiente e para a saúde humana (Ribeiro et al., 2010b), podendo mobilizar material particulado, compostos orgânicos e Elementos Potencialmente Tóxicos (PTEs) para o ecossistema (Ciesielczuk et al., 2014). A Bacia Carbonífera do Douro (BCD) é um dos mais importantes depósitos de carvão do Norte de Portugal, tendo sido extraída antracite A nos complexos mineiros de São Pedro da Cova e Pejão. Esta atividade resultou em mais de 20 escombrelas de carvão, localizadas nas áreas envolventes às antigas minas, sem uma gestão ambiental adequada. A maioria destas escombrelas foi caracterizada nos últimos anos (Ribeiro et al., 2010b), mas os efeitos ambientais carecem de estudos suplementares. Em 2017, a antiga área mineira do Pejão foi afetada por incêndios rurais

promovendo a ignição de algumas escombrelas desta área. O processo de extinção da combustão dos rejeitados mineiros de carvão incluiu a remobilização do material usando uma mistura de água com um agente acelerador de arrefecimento, sendo esta área posteriormente coberta com material lítico. O principal objetivo deste estudo foi avaliar os potenciais efeitos ecotoxicológicos de elutriados dos resíduos de carvão na área envolvente à mina do Fojo. A avaliação ecotoxicológica foi realizada em 25 amostras de solo provenientes de: escombrela com autocombustão e cobertura (EA, EAC), escombrela sem autocombustão (ENA), escombrela mista (EE) com materiais queimados e não queimados resultante da intervenção da extinção do incêndio, solo a montante (B) e a jusante (SJ) da área da escombrela (Fig. 1). A caracterização física e química

das amostras de solo foi realizada em termos de pH, condutividade elétrica, conteúdo em matéria orgânica (MO) e a capacidade de retenção de água (CRA). Os elutriados foram efetuados numa proporção de 1:4 (solo: meio de cultura) para cada bioensaio. Os ensaios ecotoxicológicos nos elutriados foram realizados em diferentes espécies-modelo: i) inibição de bioluminescência da bactéria *Aliivibrio fischeri* (Microbics, 1992); ii) Inibição de crescimento de *Lemna minor* (OECD, 2006); e iii) imobilização de *Daphnia magna* (OECD, 2004). Os solos em estudo apresentaram variabilidade nos parâmetros físicos e químicos. O pH registado foi sempre ácido com o valor mais alto e mais baixo detetado nas amostras de solo de ENA (3,50-5,15). Os valores de condutividade elétrica mais elevados registaram-se em EE, e em B os valores mais baixos (33-366 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Os solos EA apresentaram conteúdo em MO mais baixo (3,6%), enquanto nas amostras ENA se registou a percentagem mais elevada (19,9%). Os solos B apresentaram menor CRA ($\approx 11,5\%$) e os solos EAC os maiores valores ($> 34\%$).

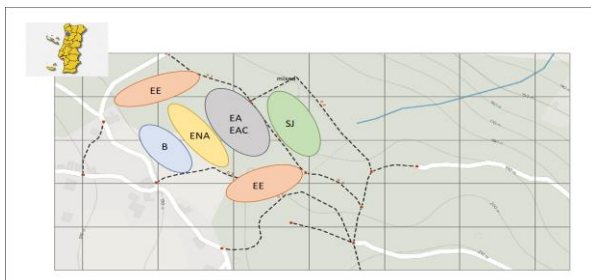


Fig. 1. Localização da área de estudo e áreas de recolha das amostras: B - solos montante; ENA - escombreira não queimada; EA - escombreira queimada; EAC - cobertura da escombreira queimada; EE - escombreira mista; SJ: solos a jusante.

Agradecimentos: Trabalho apoiado pelo projeto “SHS: Soil health surrounding former mining areas: characterization, risk analysis, and intervention”, financiado no âmbito do Aviso de Abertura n.º NORTE-45-2020-75 – SISTEMA DE APOIO À INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA – “PROJETOS ESTRUTURADOS DE I&D&I” – HORIZONTE EUROPA, Ref. NORTE-01-0145-FEDER-000056 e enquadrado nas atividades do G13 do ICT (UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020).

Referências

- Ciesielczuk, J., Misz-Kennan, M., Hower, J.C. & Fabiańska, M.J. (2014). Mineralogy and geochemistry of coal wastes from the Starzykowiec coal-waste dump (Upper Silesia, Poland). *International Journal of Coal Geology*, 127, 42–55.
- Microbics, M. (1992). *Microtox manual - a toxicity handbook: Vols. I–VI*. Microbics Corporation.
- OECD. (2004). Test No. 202: *Daphnia sp.* acute immobilisation test. <https://doi.org/10.1787/9789264069947-en>
- OECD. (2006). Test No. 221: *Lemna sp.* growth inhibition test. <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264016194-en>
- Ribeiro, J., Ferreira da Silva, E. & Flores D. (2010b). Burning of coal waste piles from Douro Coalfield (Portugal): Petrological, geochemical and mineralogical characterization. *International Journal of Coal Geology*, 81, 359-372.

A análise de componentes principais permitiu separar os 25 solos e os 4 parâmetros físico-químicos, de acordo com as suas características e origem (Fig. 2). Estes resultados demonstram ainda que as diferentes amostras de solo provenientes de cada local se comportam como réplicas verdadeiras.

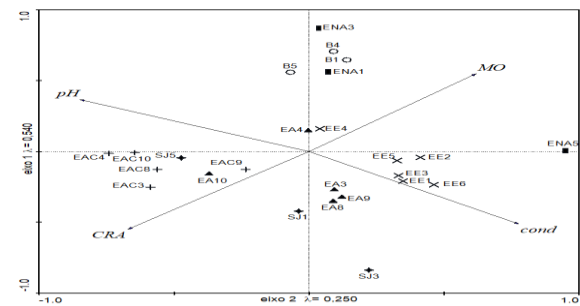


Fig 2. Análise de componentes principais entre as amostras de solo e os parâmetros físico e químicos.

Os resultados dos ensaios de toxicidade demonstraram que a bactéria *A. fischeri* foi a espécie mais sensível, sendo as amostras EAC e EA as mais tóxicas ($\text{EC}_{20} = 0.9$ e 1.4% , respetivamente). *L. minor* revelou sensibilidade à exposição dos elutriados de solo, nomeadamente na amostra ENA, com inibição de crescimento de 85% e nas amostras de solo B com $40-60\%$ de inibição de crescimento. *D. magna* foi a espécie menos sensível para a maioria dos elutriados testados (8 solos com $<20\%$ mortalidade), no entanto alguns solos induziram $>70\%$ (B4 e EE2) e 100% (B1 e ENA5) de mortalidade. Os resultados obtidos demonstram que há risco para a biota do ecossistema aquático, se os lixiviados nas escombreyras atingirem linhas de água. No entanto, mais estudos serão necessários para avaliar o risco para outras espécies e os efeitos a outros níveis de organização biológica.

Caracterização composicional de sedimentos urbanos de Vila Real: implicações ambientais

Compositional characterisation of urban sediments from Vila Real: environmental implications

A. R. Reis (1), B .M. F. Silva (2) e R. J. S. Teixeira (1)

- (1) Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, UTAD, e Pólo da UTAD do CGeo – Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real, anarreis@utad.pt, www.utad.pt
- (2) Aluno de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Escola de Ciências da Vida e do Ambiente, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, UTAD, Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real, Portugal

Summary: *This study presents a characterisation of the composition and texture of urban sediments from the city of Vila Real (Northern Portugal), through the study of polished thin sections and polished grain mounts by optical microscopy, X-ray diffraction and electron microscopy. The urban sediments consist of quartz, feldspars, micas and, rarely, chlorite and tourmaline, but they also contain opaque minerals/phases, iron hydroxides, fragments of cement/concrete, plant remains, plastics and synthetic grass fibers. The analysis of opaque phases by electron microscopy indicates the occurrence of rubber particles, derived from automobile tires, Al-Si alloys with Fe, cast iron, nodular cast iron, cement and rust-derived dust from oxidation of metal surfaces. These phases result from the abrasion and wear of automobile components and from the weathering and erosion of building structures, constituting a significant anthropogenic component in the composition of urban sediments.*

Key words: *Urban sediments; Petrographic analysis; X-ray diffraction; Electronic microscopy; Pollution.*

Palavras-chave: Sedimentos urbanos; Análise petrográfica; Difração de raios-X; Microscopia eletrónica; Poluição.

Os sedimentos urbanos resultam do acumular de partículas nas superfícies das ruas das cidades. Em geral contêm contaminantes associados, quer na forma de partículas de origem natural ou antrópica, quer na forma de elementos e compostos químicos, representando um impacto potencial negativo para a qualidade da água e saúde humana (Selinus *et al.*, 2005).

No presente estudo caracterizou-se a composição e a textura dos sedimentos urbanos da cidade de Vila Real (fração < 2 mm), através do estudo de lâminas delgadas polidas e superfícies polidas dos sedimentos por microscopia óptica (microscópio petrográfico Leitz Ortholux II POL-BK), difração de raios-X (equipamento PANalytical X'Pert Pro MPD, equipado com Ultrafast X'celerator Detector e monocromador secundário) e microscopia eletrónica (microscópio eletrónico FEI Quanta 400 SEM/ESEM, com EDS - Energy Dispersive Spectroscopy).

A análise petrográfica das lâminas delgadas polidas revelou que a composição mineralógica dos sedimentos urbanos é constituída, essencialmente, por quartzo, feldspatos (microclina e plagioclase), micas (moscovite e biotite) e, mais raramente, clorite

e turmalina. Nas amostras foram ainda identificados minerais opacos/fases opacas, hidróxidos de ferro, fragmentos de cimento/betão, restos de plantas, plásticos e fibras de relva sintética (Fig. 1).

A análise por difração de raios-X foi realizada com o objetivo de confirmar a identificação de determinadas fases mineralógicas e de outros materiais existentes nos sedimentos urbanos e de quantificá-los pelo do método de refinamento de Rietveld (Rietveld, 1969). A composição modal das amostras indica que são constituídas principalmente por quartzo (45-50%), sendo o mineral mais abundante, ortoclase/microclina (21-27%), albite (9-16%), moscovite (9-15%) e, em algumas amostras, calcite (6%).

A análise das fases opacas por microscopia eletrónica (Fig. 2) indica a ocorrência, entre outras, de partículas de borracha derivada dos pneus automóveis, ligas de Al-Si com Fe, ferro fundido, ferro fundido nodular, cimento e poeiras ferruginosas derivadas da oxidação de superfícies metálicas (Taylor & Robertson, 2009; Baensch-Baltruschat *et al.*, 2020).

A influência da erosão do *bedrock* granítico, e dos solos da área urbana, reflete-se na composição

mineralógica dos sedimentos. A influência das atividades antrópicas manifesta-se, em particular, na ocorrência de partículas resultantes da abrasão e desgaste de componentes automóveis e da alteração e erosão de estruturas dos edifícios.

Muitos dos minerais e materiais identificados nos sedimentos urbanos podem ocorrer em suspensão no

ar (fração mais fina) e, por inalação, causar doenças no aparelho respiratório. Para além disso, o impacto nos ecossistemas aquáticos, por influência da composição das águas de escorrência da zona urbana de Vila Real é também uma preocupação crescente.

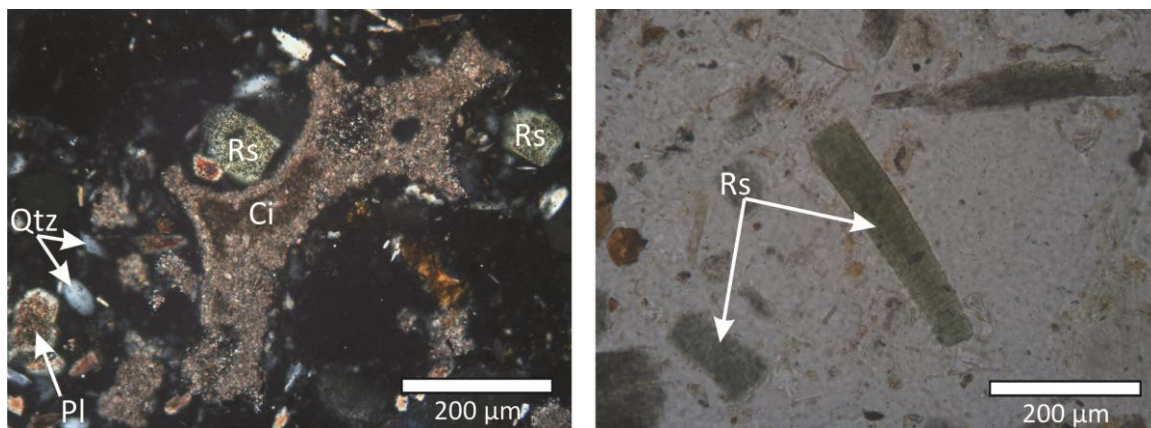


Fig. 1. Fragmento de cimento (Ci) com evidências de ter preenchido espaços intersticiais de areias arredondadas e fibras de cor verde que correspondem a relva sintética (RS) (nicóis cruzados). Qtz- Quartzo; Pl- Plagioclase.

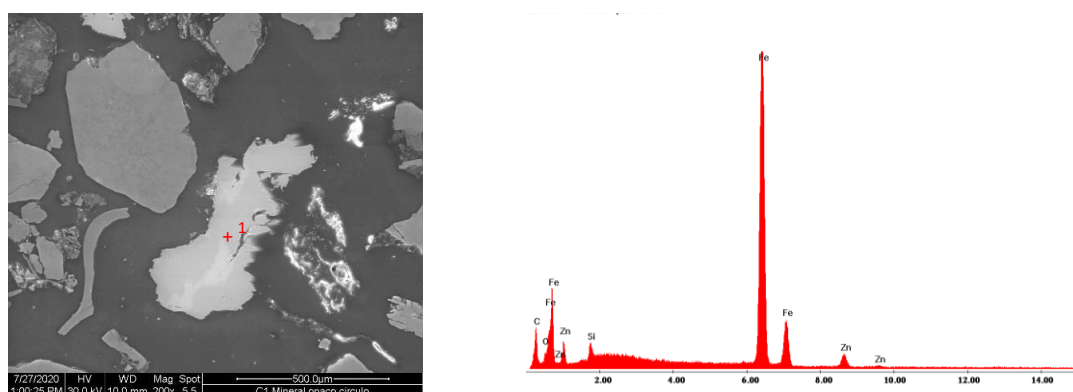


Fig. 2. Espectro EDS de fase analisada no ponto 1 em superfície polida de amostra de sedimentos.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito dos projetos UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020, da unidade I&D Centro de Geociências (CGEO), da Universidade de Coimbra.

Referências

- Baensch-Baltruschat, B., Kocher, B., Friederike Stock, F., Reifferscheid, G. (2020). Tyre and road wear particles (TRWP) - A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment. *Science of the Total Environment* 733, 137823. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137823.
- Rietveld, H. M. (1969). A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Journal of Applied Crystallography*, 2, 65-71.
- Selinus, O., Alloway, B. J., Centeno, J. A., Finkelman, R. B., Fuge, R., Lindh, U. & Smedley, P. (2005). Essentials of Medical Geology. Impacts of the Natural Environment on Public Health. *Environmental Health Perspectives*. 113 (11), A780.
- Taylor, K. G. & Robertson, D. J. (2009). Electron microbeam analysis of urban road-deposited sediment, Manchester, UK: Improved source discrimination and metal speciation assessment. *Applied Geochemistry*, 24 (7), 1261-1269. doi: 10.1016/j.apgeochem.2009.03.011.

Assessment of soils quality around the deactivated Sines coal-fired power plant

Avaliação da qualidade dos solos na envolvente da desativada central termoelétrica de Sines

J. Ribeiro (1, 2), J.A Erbolato Filho (1, 3), M. Ribeiro (1), R. Cardoso (1) and J. Rodrigues (1)

- (1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra; joana.ribeiro@uc.pt.
 (2) Instituto Dom Luiz.
 (3) Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra.

Sumário: Este estudo tem como objetivo avaliar o impacto ambiental da atividade da central termoelétrica de Sines nos solos da área envolvente. A central encerrou atividade em 2021 e, para esta área industrial, está atualmente prevista a implementação de uma central de produção de hidrogénio verde. Por esse motivo, e considerando que a área se localiza junto ao Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina e costa Atlântica, a avaliação do estado da qualidade dos solos, assim como identificação de potenciais problemas de contaminação é relevante. Os dados evidenciam problemas de contaminação relacionados com alguns elementos potencialmente tóxicos, nomeadamente, As, Co, Cr, Hg, Ni, Se e V. A sua concentração no solo pode estar relacionada com a sua associação inorgânica e concentração nas cinzas ou com a vaporização e emissão para a atmosfera, que acabam por ser mobilizados e depositados nas áreas envolventes.

Palavra-chave: combustão de carvão, emissões gasosas, elementos potencialmente tóxicos, contaminação.

Key words: coal combustion, ash, gaseous emissions, potentially toxic elements, contamination.

Major anthropogenic activities affecting soils and the carbon-cycle are related to the use of fossil fuels (FAO and UNEP, 2021). The combustion of coal for power generation is a significant source of contaminants that may pose risk to soils. Once in the soil, contaminants can be concentrated or mobilized affecting the atmosphere, ecosystems, and water.

This research aims to assess the impact of the industrial coal combustion in soils around Sines thermal power plant (S-TPP). This study is relevant because coal-fired power plants are a well-known source of contamination to surrounding areas (1), the activity of S-TPP ceased in 2021 (2), and it is located immediately next to a natural park - *Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina* and the Atlantic coast (3). Therefore, the identification of the environmental impact caused by the past activity of the S-TPP is very important.

A total of 34 samples of soils were collected around S-TPP, right after the boundary of the industrial facilities, and up to a distance of 1 km, where a more distant sample was collected to serve as reference material less affected by the mobilization of contaminants. The industrial facilities have an elongated form with a W/SW-E/NE direction, being

the W limit near the coast of the Atlantic Ocean (Fig. 1). Therefore, most of the samples were collected to the north and to the south of the industrial area, that contacts with the natural park.



Fig. 1. Aerial image of the area occupied by Sines thermal power plant industrial facilities (from Google Earth).

The elemental chemical composition of soil samples was determined by inductively coupled plasma emission spectrometry/mass spectrometry (ICP-ES/MS), in Bureau Veritas Mineral Laboratories. Determination of mercury concentration was carried out by high frequency atomic absorption spectrometer (HF AAS). The granulometric analysis, and determination of pH and electrical conductivity were also conducted in accordance with standardized laboratorial procedures.

Soils are preferably sandy, with the fine fraction (<0.63 µm) being less than 20% in almost all samples. The pH is near neutral to acidic, with a mean value of 6.56 (standard deviation of 0.85). The electrical conductivity varies between 24.5 and 425.0 µS/cm, with a mean value of 104.4 µS/cm.

The results show two distinct patterns in the sampled areas with soils evidencing significant differences, principally regarding chemical composition of the soils collected on the north and on the south areas of S-TPP. The sum of the determined trace elements in soils from the northern area and in the reference soil samples is lower than 720 ppm while the other samples present more than 1000 ppm up to 3300 ppm. The differences between northern and southern areas are related with the preferential direction of the wind in the region, and also with the proximity to storage and landfill structures inside the industrial facilities. The same trend was observed regarding the presence of natural radionuclides in these soils.

Particular attention was given to potentially toxic elements because their harmful impact to human health and to the environment. The concentration of potentially toxic elements in the studied samples was compared with the local reference sample and with the reference values for Portuguese soils reported by APA - Environmental Portuguese Agency (APA, 2019), considering soils in sensitive areas and agricultural use. The concentration of As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, V, and Zn in the local reference sample is significantly lower than those reported as Portuguese reference values (APA, 2019). The same is verified for samples from the northern area. However, some samples collected in the southern area present some elements concentration greater than those of Portuguese reference values. The elements As, Co, Cr, Ni, and V are increased in 2 to 5 samples, while Hg,

and Se are increased in most of the samples. The elements Cd, Cu, Pb, and Zn have concentration lower than the reference values.

Although potentially toxic elements are present in small concentrations in coals, the combustion in thermal power plant for decades mobilizes these elements to combustion products and gases emissions, which partially ends up being release to atmosphere. Some elements are associated with mineral fraction in coals, being therefore preferentially concentrated in ashes after combustion. Other elements, such as Hg and Se are vaporized during combustion at high temperatures. Orem and Finkelman (2003) refer that existing pollution control devices related with industrial coal combustion can remove as much as 99% of the trace elements, except Hg and Se from the combustion gases. This can explain the concentration of these elements in the soils located in the southern area of S-TPP, whose activity started in 1985 and last 36 years (EDP, 2019).

Contamination problems related with potentially toxic elements in the studied area occur in the southern area of the S-TPP facilities, specifically with the elements As, Co, Cr, Ni, V and, principally Hg and Se. Their concentration in soil may be related with their inorganic association and concentration in ash or with vaporization and emission to atmosphere. Mobilization and deposition downwind from S-TPP lead to the enhancement of the referred potentially toxic elements in soil. The obtained information is useful for scientific based decision by decision makers, considering the relevance of the studied area where, after the decommissioning of the coal-fired power plant, it is intended to implement an industry related with green hydrogen production.

Acknowledgements: The authors acknowledge the support given by the Department of Earth Sciences from University of Coimbra for providing the facilities and conditions for the development of summer internships of M. Ribeiro, R. Cardoso and J. Rodrigues.

References

- APA, Agência Portuguesa do Ambiente (2019). Solos Contaminados - Guia Técnico, Valores de Referência para o Solo. Lisboa. 73 pp.
- EDP - Energias de Portugal (2019). Central termoelétrica de Sines, declaração ambiental 2019. Atualização da declaração ambiental de 2018.
- FAO and UNEP. (2021). Global assessment of soil pollution - Summary for policy makers. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4827en>.
- Orem, W. H., Finkelman, R. B. (2003). Coal formation and geochemistry. In: Holland, H.D., Turekian, K.K., Mackenzie, F.T., (Eds.), Treatise on Geochemistry, Sediments Diagenesis and Sedimentary Rocks vol. 7, Elsevier, Amsterdam, pp. 191–222.

Caraterização ambiental dos solos da envolvente da escombreira da mina do Fojo – complexo mineiro do Pejão

Environmental assessment of the soils that surround the Fojo mine – Pejão mining complex

P. Santos (1), A. Rajnauth (1), J. Espinha Marques (1), J. Ribeiro (2,3) e D. Flores (1)

- (1) Instituto de Ciências da Terra (ICT), Departamento de Geociências Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal. patricia.santos@fc.up.pt.
(2) Instituto Dom Luiz (IDL), Portugal.
(3) Universidade de Coimbra. Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal.

Summary: Fojo mine, located in Pejão mining complex hosts one of the multiple waste piles from Douro Carboniferous Basin, whose residues were affected by self-combustion. The geochemical composition of the waste pile materials affected and unaffected by combustion, as well as surrounding soils was determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and soil environmental characterization of the study area was accessed by different pollution indices, the geoaccumulation Index (Igeo) and the potential ecological risk Index (PERI). The soils located along the waste pile drainage classify as unpolluted to moderately polluted in PTEs according to the inferred Igeo, however present moderate to high pollution in Co and Mn. According to the determined PERI these soils display a moderate ecological risk. The spatial distribution of the PTEs concentrations and related environmental indices show an enrichment in the soils along the waste pile runoff areas.

Key words: coal mine, combustion, geoaccumulation index, potential ecological risk index

Palavras-chave: mina de carvão, combustão, solo, índice de geoacumulação, risco potencial ecológico

O complexo mineiro do Pejão localiza-se em Castelo de Paiva, foi uma das mais relevantes minas de carvão da Bacia Carbonífera do Douro, tendo explorado antracite durante mais de um século até ao seu encerramento em 1994.

De entre os impactes ambientais mais relevantes resultantes da sua exploração podemos encontrar no complexo mineiro várias escombreiras, de entre as quais as da mina do Fojo, que em 2017 entrou em ignição na sequência de fogos florestais. Esta escombreira manteve-se em auto-combustão até 2019, obrigando a uma intervenção técnica por parte da Empresa de Desenvolvimento Mineiro, que consistiu na remobilização dos resíduos depositados na escombreira, combinada com a aplicação de um fluído de arrefecimento.

As escombreiras de carvão podem constituir uma fonte potencial de contaminação para os solos da envolvente. Com o objetivo de caracterizar ambientalmente os solos nas imediações da escombreira da mina do Fojo, um total de 40 amostras foram recolhidas, compreendendo os resíduos mineiros depositados na escombreira, afetados e não afetados por combustão, bem como solos a montante, representativos da situação de referência, e solos a jusante, portanto ao longo da

área de drenagem afetada pela escorrência da escombreira. As amostras foram secas, pulverizadas a 212 µm e analisadas por espectrometria de massa acoplada a plasma indutivo (ICP-MS) com vista à sua caracterização geoquímica.

Este trabalho teve como principais objetivos a caracterização da contaminação ambiental com vista à identificação dos principais impactes ambientais nos solos da envolvente da escombreira da Mina do Fojo. A determinação da qualidade dos solos foi avaliada com recurso a diferentes índices ambientais frequentemente aplicados a solos e sedimentos, como o índice de geoacumulação (Igeo) (Muller, 1969) e a avaliação do índice de risco ecológico potencial (PERI) (Hakanson, 1980), que tem em consideração as características toxicológicas de cada elemento. O Igeo determinado nos solos sobre os resíduos da escombreira classifica-os como não poluídos a moderadamente relativamente aos elementos potencialmente tóxicos (EPTs) e moderadamente a altamente poluídos em S, Cd, Sb, e Ag. De acordo com a avaliação do risco potencial ecológico, estes solos classificam-se maioritariamente como de risco ecológico considerável a elevado (Fig. 1).

Relativamente aos solos colhidos a jusante, os valores de Igeo indicam que correspondem a solos não poluídos a moderadamente poluídos em EPTs, no entanto apresentam-se enriquecidos em Co e Mn, com valores de Igeo que os classificam como moderadamente a altamente poluídos nestes elementos. Os solos a jusante apresentam um índice de risco ecológico potencial global considerado moderado. A apreciação da distribuição espacial das concentrações dos principais EPTs, bem como da aplicação de índices ambientais, denota já um efeito de concentração e enriquecimento em alguns elementos na transição da escombreira para a área de escorrência, possivelmente em resultado de remobilização e lixiviação de alguns elementos a

partir dos resíduos nela depositados, para os solos ao longo da área de drenagem.

Os solos localizados ao longo desta área mostram-se enriquecidos em Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Sb, Cd e Cr em relação à concentração dos solos localizados a montante, no entanto apenas o As ultrapassa os valores de referência para solos contaminados, propostos pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2019).

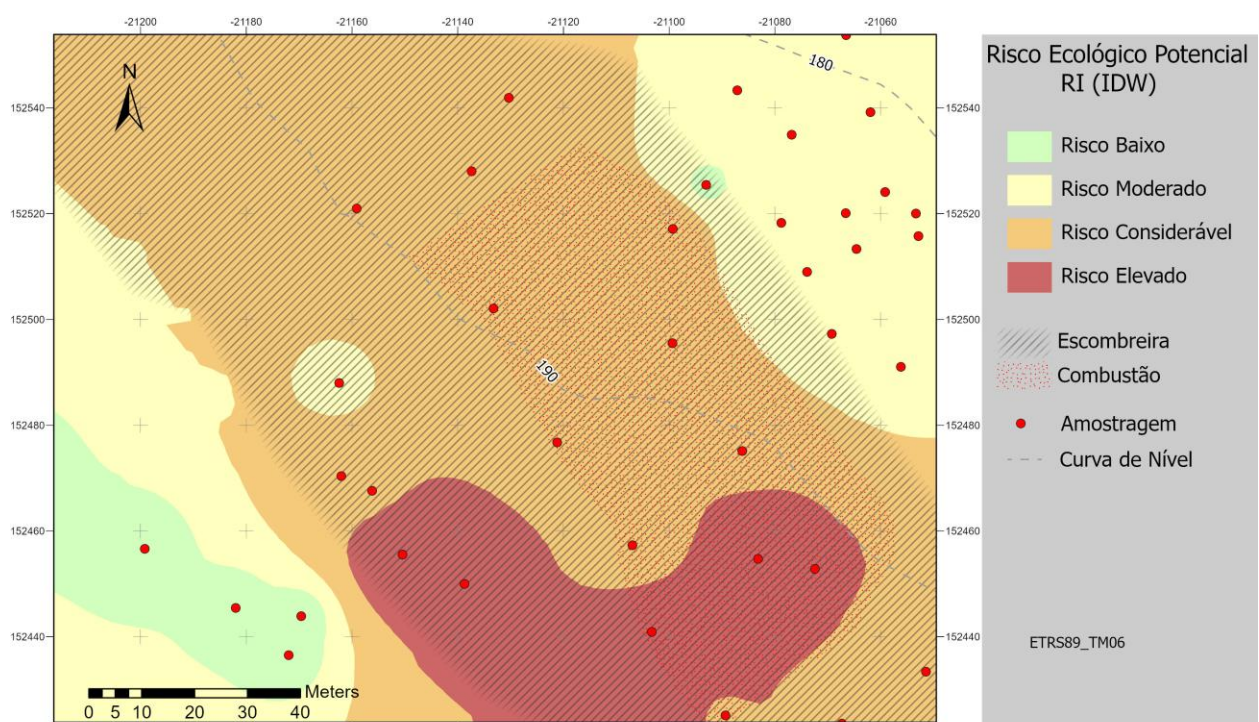


Fig. 1. Distribuição espacial dos valores do risco ecológico potencial, avaliado na envolvente da escombreira da mina do Fojo – Complexo mineiro do Pejão.

Agradecimentos: Este trabalho foi suportado pelo Projeto SHS, financiado por NORTE-45-2020-75 - SISTEMA DE APOIO À INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA - “PROJETOS ESTRUTURADOS DE I&D” - HORIZONTE EUROPA, Ref. NORTE-01-0145-FEDER-000056 e enquadrado nas atividades do ICT – G13 (UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020).

Referências

- APA (2019) Solos Contaminados – Guia Técnico, Valores de Referência para o Solo. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa, 73p.
- Hakanson, L. (1980) An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control. A Sedimentological Approach. *Water Res.*, 14, 975–1001, doi:10.1016/0043-1354(80)90143-8.
- Muller, G. (1969) Index of Geoaccumulation in Sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 2, 108–118.

Associações entre radioisótopos e mineralogia em unidades carbonatadas (Jurássico Inferior e Médio, Bacia Lusitânica)

Associations between radioisotopes and mineralogy in carbonate units (Lower-Middle Jurassic, Lusitanian Basin)

S. L. R. Sêco (1), G. S. Luís (2), F. P. Domingos (2), A. J. S. C. Pereira (2), L. V. Duarte (3) e F. Rocha (4)

- (1) Universidade de Coimbra, IDL e Dep. de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal, osergioseco@gmail.com
- (2) Universidade de Coimbra, CITEUC e Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal
- (3) Universidade de Coimbra, MARE-ARNET e Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal
- (4) Universidade de Aveiro, Geobiotec e Departamento de Geociências, Aveiro, Portugal

Summary: *Radioisotopes' concentrations and the mineralogical variability highlight important challenges in the context of the Lusitanian Basin (LB) infilling. Field gamma-ray spectrometry have shown a significant dispersion in radioisotope concentrations related to vertical and lateral variations of lithology. In this work, principal component analysis and hierarchical clustering of X-ray diffraction and radioisotope activity data are used to identify relationships among these variables in a total of 189 samples. Results are discussed in terms of the different lithostratigraphic units sampled in the central and northern part of LB.*

Key words: *Radioisotopes, mineralogy, principal component analysis, sedimentary rocks, Lusitanian Basin*

Palavras-chave: Radioisótopos, mineralogia, análise de componentes principais, rochas sedimentares, Bacia Lusitânica

Num contexto sedimentar, dependendo da energia do meio ao longo do tempo e do posicionamento estratigráfico, diversas litologias exibem assinaturas mineralógicas e de radioatividade natural ligadas aos processos deposicionais (e.g. Hesselbo et al., 2009). Numa sucessão carbonatada, a distribuição das concentrações de radioisótopos e a variabilidade mineralógica apresentam desafios importantes, sendo estas técnicas úteis para evidenciar diferenças na investigação subsuperficial, análise sequencial, correlações com minerais de argila, unidades margosas ricas em matéria orgânica, entre múltiplas outras aplicações (e.g. Ruffell & Worden, 2000; Sêco et al., 2018, 2020).

Integradas no seu primeiro ciclo deposicional, as sucessões do Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica (BL) exibem um enchimento maioritariamente carbonatado, contínuo, com variação litológica vertical e lateral reconhecida em afloramento, observando-se numerosas unidades de litologia variável, e associadas a diferentes ambientes marinhos (e.g. Azerêdo et al., 2003 e referências aí incluídas), incluindo margas ricas em matéria orgânica (Duarte et al., 2010). Neste estudo investigamos a utilidade de combinar a análise de componentes principais (ACP) de dados de difração de raios-X (DRX) e atividade de radioisótopos (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K e ^{222}Rn) para identificar relações dentro de um grande número de amostras (189), obtidas em 12

unidades litostratigráficas da parte central e norte da BL (topo da formação de Dagorda, Pereiros, Coimbra, São Miguel, Água de Madeiros, Vale das Fontes, Lemedo, São Gião, Cabo Carvoeiro, Póvoa da Lomba, Ançã e Cabo Mondego). As unidades estudadas e que representam um desenvolvimento regional de litologia incluem: 3 arenitos (A), 24 lutitos (L), 7 dolomitos (D), 9 calcários dolomíticos (CD), 17 calcários (C), 15 calcários margosos (CM), 10 margas calcárias (MC), 77 margas (M) e 27 *black shales* (BS).

A ACP destaca uma forte relação entre os radioisótopos e materiais sedimentares contendo quartzo, filossilicatos e feldspato-K (Fig. 1 A). Por outro lado, a dimensão 2 mostra uma separação entre os radioisótopos ^{226}Ra e ^{222}Rn e os radioisótopos ^{232}Th e ^{40}K . Estes radioisótopos estão associados a materiais argilosos e ao componente autigénico (precipitação em ambiente redutor) para o primeiro caso, e silto-argiloso para o segundo caso. O *clustering* hierárquico, baseado nas dimensões da ACP, levou à definição de quatro agrupamentos (Fig. 1 B): C1) fácies M e BS com maiores concentrações de pirite e gesso (com ankerite ou dolomite); C2) fácies mistas carbonato-silto-argilosas; C3) fácies essencialmente carbonatadas e concentrações de radioisótopos reduzidas, e C4) fácies siliciclásticas e silto-argilosas com influxo continental, e maiores concentrações de radioisótopos.

Este trabalho vem demonstrar a importância da ACP para a interpretação das relações entre a mineralogia e os radioisótopos naturais em sucessões maioritariamente carbonatadas, no sentido de

reforçar e complementar as observações e medições realizadas em afloramento (ex. geoquímica e espectrometria de raios gama), fornecendo novos dados ao estudo e evolução da BL.

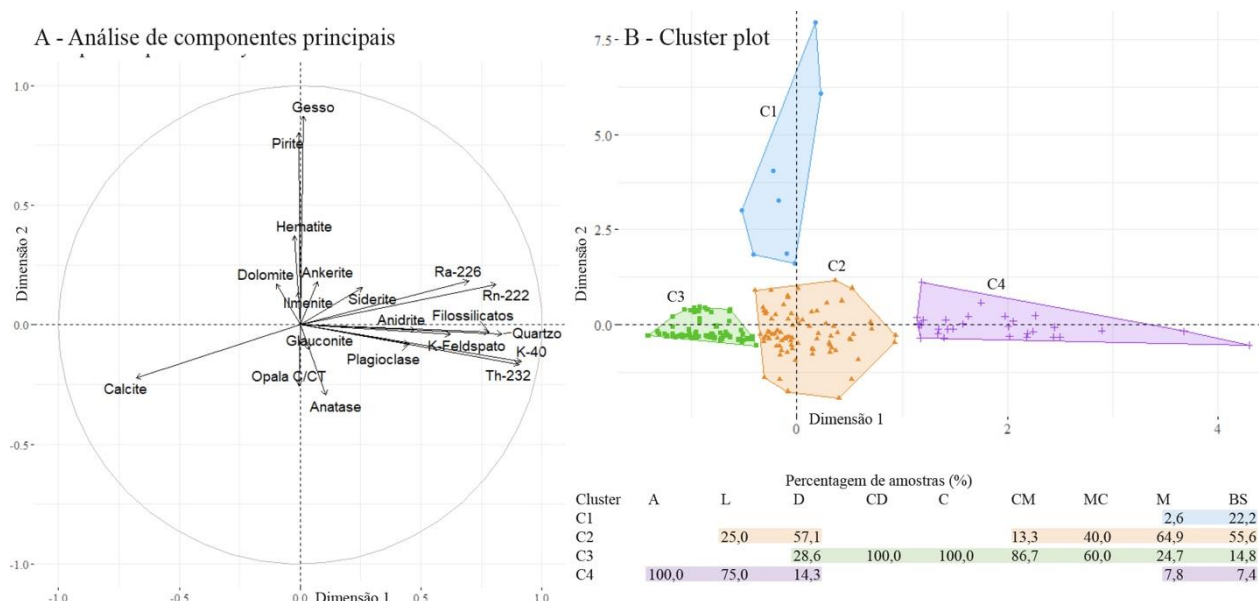


Fig. 1. A – Resultado da análise de componentes principais. B – Resultado da análise dos clusters hierárquico. Tabela: A-arenitos; L-lutitos; D-dolomitos; CD-calcários dolomíticos; C-calcários; CM-cal. margosos; MC-margas calcárias; M-margas; BS-black shales.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Projeto FSE CENTRO-04-3559-FSE-000142, Instituto do Ambiente, Tecnologia e Vida, Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra e ao Laboratório de Raios-X da Universidade de Aveiro (UIDB/04035/2020). Financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC)–UIDB/50019/2020. G.L. agradece o apoio da FCT com fundos nacionais, através da bolsa de doutoramento UI/BD/151293/2021.

Referências

- Azerêdo, A.C., Duarte, L.V., Henriques, M.H. & Manuppella, G. (2003). Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos da Geologia de Portugal*, Instituto Geológico e Mineiro, 43 pp.
- Duarte, L.V., Silva, R.L., Oliveira, L.C.V., Comas-Rengifo, M.J. & Silva, F. (2010). Organic-rich facies in the Sinemurian and Pliensbachian of the Lusitanian Basin, Portugal: Total Organic Carbon distribution and relation to transgressive- regressive facies cycles. *Geologica Acta*, 8 (3), 325-340.
- Hesselbo, S.P., Deconinck, J.F., Huggett, J.M., & Morgans-Bell, H.S. (2009). Late Jurassic palaeoclimatic change from clay mineralogy and gamma-ray spectrometry of the Kimmeridge Clay, Dorset, UK. *Journal of the Geological Society*, 166(6), 1123-1133.
- Ruffell, A. & Worden, R. (2000). Palaeoclimate analysis using spectral gamma-ray data from the Aptian (Cretaceous) of southern England and Southern France. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 155, 265-283.
- Sêco, S.L.R., Domingos, F., Pereira, A.J.S.C. & Duarte, L.V. (2020). Estimation of the radon production potential in sedimentary rocks: a case study in the Lower and Middle Jurassic of the Lusitanian Basin (Portugal). *Journal of Environmental Radioactivity*, 220-221, 106272.
- Sêco, S.L.R., Duarte, L.V., Pereira, A.J.S.C. & Silva, R.L. (2018). Field gamma-ray patterns and stratigraphic reinterpretation of offshore well-log data from Lower Jurassic organic-rich units of the Lusitanian Basin (Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, 98, 860-872.

Adsorção do arsénio dissolvido em águas de drenagens ácidas mineiras por um óxido-hidróxido de ferro (ferrihidrita)

Adsorption of arsenic dissolved in acid mine drainage water by an iron oxide hydroxide (ferrihydrite)

N. Silva (1), R. Fonseca (2), T. Valente (3) e C. Pinho (4)

- (1) Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra, Laboratório AmbiTerra, Évora, Portugal, motasilva.n@gmail.com
- (2) Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências da Terra, Laboratório AmbiTerra, Évora, Portugal
- (3) Universidade do Minho, Departamento de Ciências da Terra, Instituto de Ciências da Terra, Braga, Portugal
- (5) Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra, Laboratório AmbiTerra, Évora, Portugal

Summary: *The abandonment of mining areas without any planning to mitigate possible environmental damage, generated a scenario marked by serious impacts on water systems, among which are high metal contents and acid drainage. The aim of this work is to evaluate the ability of a hydrated iron oxide (ferrihydrite) in retaining arsenic present in contaminated watercourses. Laboratory scale tests were carried out under conditions found in acidic waters at Mina de São Domingos, a former mining area inserted in the northern sector of the Iberian Pyrite Belt (IPB). Along the main water line of the region, pH values of 2 and dissolved arsenic concentrations of 32.3 mg/L were found.*

Key words: *adsorption, ferrihydrite, acid mine drainage, arsenic*

Palavras-chave: adsorção, ferrihidrita, drenagem ácida mineira, arsénio

Introdução

A exploração de depósitos minerais expõe à superfície terrestre rejeitos e resíduos de rochas, que ao entrarem em contato com a atmosfera, tornam-se quimicamente instáveis. Em uma pilha de estéril contendo espécies minerais reduzidas, como a pirita, a qualidade da água drenada é em grande parte determinada pelos efeitos dos processos geoquímicos que controlam as taxas de intemperismo mineral e dos processos hidrológicos que controlam o fluxo insaturado. Entre as consequências da oxidação de minerais de sulfeto está a liberação de altas concentrações de SO_4 , H^+ e metais, que permanecem dissolvidos nas águas de drenagem das regiões mineiras (Smith & Beckie, 2003; Ptacek & Blowes, 2003).

O objetivo deste trabalho é avaliar o óxido de ferro hidratado (ferrihidrita) na capacidade de retenção do arsénio presente em águas de drenagem ácida mineira através do processo físico-químico da adsorção. A utilização de materiais de baixo custo, elevada disponibilidade na natureza e comprovada eficiência pode constituir uma solução para a reabilitação de sistemas degradados. Além disso, contribui para uma estratégia de economia circular baseada na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia.

Materiais e Métodos

A ferrihidrita utilizada neste trabalho é o resíduo do tratamento passivo das águas de drenagem ácida da mina de Jales, antiga área mineira situada na região norte de Portugal. A sua capacidade de adsorção foi analisada por meio dos ensaios cinético e de coluna. Os ensaios foram elaborados a partir da análise e coleta das águas ácidas da Mina de São Domingos, inserida na Faixa Piritosa Ibérica (FPI) e representativa de impacte ambiental causado por antigas instalações de atividades mineiras.

O ensaio cinético avaliou o comportamento da ferrihidrita durante o processo de adsorção e monitorizou-se a remoção do As ao longo do tempo. A execução deste ensaio ocorreu através do contato direto entre o material sólido e soluções monoelementares de As preparadas em laboratório. Estas soluções apresentavam valores de pH próximo de 2 e concentração de As de 32 mg/L, correspondentes ao ponto mais crítico das águas da Mina de São Domingos. Como certos elementos tendem a permanecer dissolvidos em soluções com valores de pH muito baixos, foram realizados, também, ensaios com pH próximo de 7. As soluções ficaram em agitação com o material adsorvente por 0,5 h; 1 h; 2 h; 6 h; 12 h e 24 h. Ao final dos tempos

pré-determinados, foram analisadas para verificar possíveis diminuições das concentrações de As. Posteriormente, colunas preenchidas com a ferrihidrita foram percoladas pelas águas coletadas nas drenagens ácidas da Mina de São Domingos para simular e avaliar o comportamento da ferrihidrita em uma situação real. Foram utilizados 5 L das águas, que percolaram durante 17 h pelas colunas, com uma coleta de água por hora.

Discussão e Resultados

O ensaio cinético realizado com a solução monoelementar e valor de pH próximo de 2 mostrou grande eficiência na remoção do As da solução. Após 24 h de agitação, aproximadamente 86% do As havia sido removido. Em contrapartida, apenas 32% do elemento foi retirado da solução que apresentava a mesma concentração, mas valor de pH neutro. A alta taxa de remoção em soluções de baixo pH pode estar relacionada com a atração eletrostática entre os oxianíons de As e uma eventual carga positiva na superfície dos óxidos-hidróxidos de ferro. Associado a isto, há a elevada afinidade química entre o As e o Fe, principal elemento da composição da ferrihidrita. O As pode ser removido pela ferrihidrita por adsorção e/ou coprecipitação. A diminuição da remoção do As com o aumento do pH pode dever-se com a competição pelos locais de adsorção entre o grupo hidroxilo (OH^-) e as espécies As(V) , que constituem as principais formas dos oxianíons de As.

No segundo ensaio, ao se percolar as águas coletadas na Mina de São Domingos pelas colunas preenchidas com ferrihidrita, observou-se um aumento considerável e crescente do arsênio ao longo do tempo, chegando a apresentar valores quatro vezes maiores que a concentração inicial (Fig. 1). Isto indica que as águas ácidas removeram o As contido na ferrihidrita, tornando o efluente mais concentrado. Neste caso, para além de eventuais fenómenos de

desadsorção, o aumento da concentração de As no efluente pode estar também relacionado com a presença abundante de aniões de sulfato nas águas inseridas nas colunas. O sulfato pode ter sido adsorvido pelos óxidos de ferro em pH baixo, gerando uma competição com o arsenato pelos sítios de adsorção existentes na superfície da ferrihidrita.

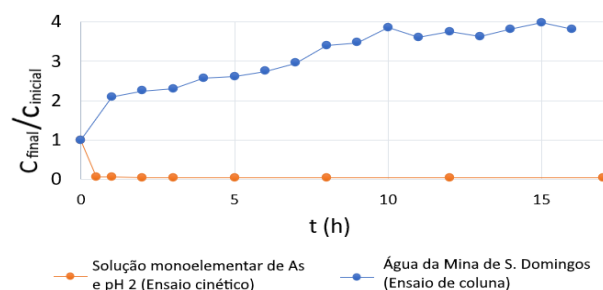


Fig. 1. Remoção do As ao longo dos ensaios cinético e de coluna.

Conclusões

A remoção do As das águas contaminadas mostrou-se fortemente dependente do pH da solução. Isto ocorre devido às mudanças nas propriedades dos materiais, como a sua carga superficial, e da composição da solução com a variação do pH. A ferrihidrita apresentou maiores taxas de remoção em soluções monoelementares de As em ambiente ácido e assim, esperava-se resultado semelhante nos ensaios com as águas ácidas, visto que a forma mais comum encontrada do As em ambientes como a Mina de São Domingos é a pentavalente, referida como o ânion arsenato (AsO_4^{-3}). Os ensaios de coluna mostraram, porém, que a ocorrência de fenómenos como a desadsorção e a competição entre os íons no preenchimento dos locais de adsorção dos materiais pode alterar a eficiência de remoção dos elementos.

Agradecimentos: Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto Nano-MINENV (PTDC/CTA-AMB/29259/2017), financiado pela FCT e cofinanciado pelo FEDER/MCTES. Refere-se também o apoio do ICT através dos projetos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Ptacek, C. J. & Blowes, W. D. (2003). Geochemistry of Concentrated Waters at Mine-Waste sites. In: J. L. Jambor, D. W. Blowes & A. I. M. Ritchie (eds.). Environmental Aspects of Mine Wastes. Short Course Handbook Vol. 31, Mineralogical Association of Canada, Ottawa, 239-260.
- Smith, L. & Beckie R. (2003). Hydrologic and Geochemical Transport Processes in Mine Waste Rock. In: J. L. Jambor, D. W. Blowes & A. I. M. Ritchie (eds.). Environmental Aspects of Mine Wastes. Short Course Handbook Vol. 31, Mineralogical Association of Canada, Ottawa, 51-72.

Observação do nível de contaminação nos sedimentos de cursos de água do Sistema Mineiro de Caveira (Grândola)

Observation of the level of contamination in the sediments of watercourses of the Caveira Mining System (Grândola)

R. da Silva (1,2), R. Fonseca (1,2,3), J. Araújo (1,2), N. Silva (1,2) e T. Albuquerque (2,4)

- (1) Laboratório AmbiTerra, Universidade de Évora, Évora, Portugal. roberto.silva@uevora.pt
- (2) Instituto de Ciências da Terra, Pólo de Évora, Évora, Portugal.
- (3) Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Évora, Portugal.
- (4) Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco, Portugal.

Summary: Following the present work inserted in the GeoMatRe Project, an ongoing project funded by Fundação La Caixa, the conditions of the most updated physical and chemical parameters of an Acid Mine Drainage are analysed, a critical situation which occurs in the mining area of Caveira (Grândola, Portugal), abandoned since the 60's. It is intended, within the scope of the project, to observe the conditions of contamination by Potentially Toxic Elements in the sediments, both dissolved and suspended forms in the water column, in order to carry out a general characterization of the mining system, based on the nature and amounts of the contaminating elements, as well as the conditions of acidification occurring on sediments present in the environment that surrounds the mining area. The aim is to understand, based on the existing conditions, the best environmental remediation technology to be applied in the region.

Key words: Caveira Mine, sediments, environment, remediation, Iberian Pyritic Belt

Palavras-chave: Mina de Caveira, sedimentos, meio ambiente, remediação, Faixa Piritosa Ibérica

O património geológico é uma base essencial no desenvolvimento demográfico, relativamente à promoção tecnológica, turística e agrícola, sendo que o seu reconhecimento e posterior exploração são fulcrais para sustento desse desenvolvimento. Contudo, causam inevitavelmente impactes de carácter ecológico e de severa preocupação para o meio ambiente. O presente trabalho visa analisar o nível de contaminação nos sedimentos da área mineira de Caveira, causado pela exploração dos sulfuretos maciços polimetálicos (ocorrida em toda a Faixa Piritosa Ibérica (FPI), desde o período de ocupação romana), com particular incidência nos últimos 200 anos, até ao encerramento da mina durante a década de 60 (Oliveira & Matos, 2002). Neste trabalho é apresentado o estudo dos sistemas hídricos impactados pelo complexo mineiro que se encontra encaixado nas formações do Paleozoico Português, na região NW da FPI e a cerca de 10 km a SE do município de Grândola (Reis et al., 2012). Foram realizadas análises geoquímicas em 32 amostras de sedimentos dos cursos de água envolventes à mina, numa campanha realizada em 2022, correspondente a um inverno com baixas taxas de precipitação. O objetivo foi de caracterizar os sistemas hídricos presentes na região e averiguar as melhores ferramentas a aplicar, a fim de se minimizar os atuais impactes ambientais. Essa aplicação será

realizada através do uso de geomateriais, por forma a reter elementos potencialmente tóxicos presentes nos efluentes mineiros e que são responsáveis pela contaminação dos cursos de água envolventes. A caracterização granulométrica dos sedimentos foi realizada através de crivagem por via húmida, para separar as frações mais grosseiras das mais finas, seguida de crivagem por via seca e, por fim, a análise dos materiais finos foi realizada através de um sedimentógrafo de raios-X. Foi observada uma natureza predominantemente arenosa (Fig. 1).

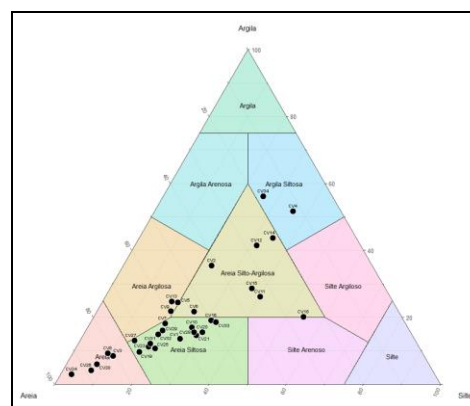


Fig. 1. Diagrama triangular de Shepard, (Shepard, 1954). Representação dos resultados granulométricos para cada amostragem realizada em toda a região da Mina de Caveira.

Apenas se verifica alguma preeminência de argilas nas regiões mais afastadas, em torno da área de exploração. Posteriormente, foram realizados diversos métodos para preparação dos sedimentos para o estudo geoquímico, variando entre fusão, para análise das formas totais, e a digestão parcial com *Aqua Regia* com recurso a um digestor de microondas de alta pressão, para quantificação das formas mais facilmente extraíveis. Esta quantificação fez-se através de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivo Acoplado, apresentando-se os valores dos elementos maiores extraídos por fusão na Tabela I, e os valores das formas extraídas por digestão parcial na Tabela II, observando-se, neste caso, o efeito contaminante, ou seja, os elementos passíveis de passar para o meio ambiente.

Tabela I. – Composição de elementos maiores, sob forma de óxidos, nos sedimentos analisados. Valores em percentagem do máximo, mínimo e médias de todas as amostragens realizadas.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	TiO ₂
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Máximo	88,41	20,81	1,24	12,13	3,8	1,57	1,83	1,05
Mínimo	46,66	2,75	0,04	1,4	0,65	0,11	0,14	0,27
Média	63,72	10,31	0,38	4,03	1,68	0,72	0,92	0,57

Também foram realizadas análises ao mercúrio, em sedimentos previamente congelados, através de um Analisador de Mercúrio, onde se obtiveram resultados abaixo dos 5 ppm associados a níveis de pH superiores a 6, e resultados compreendidos entre 13,68-127,92 ppm nos sedimentos presentes nos sectores das linhas de água mais próximos da pilha de

rejeitos, com níveis de acidez elevados (pH 2-5). De referir também um pico de 381,40 ppm na confluência com a ribeira de Grândola, associado aos valores mais baixos de pH (2,13).

Apenas com um estudo geoquímico detalhado, e acompanhado por estudos hidrológicos e geomorfológicos, é possível compreender e considerar a implementação da melhor tecnologia de remediação ambiental. É desta forma caracterizado, neste estudo, o efeito de drenagem ácida de mina nos sedimentos acumulados em linhas de água da região, onde se verifica uma contaminação difusa. Este tipo de conhecimento permite promover uma melhoria da qualidade da água destes recursos hídricos, que são vulgarmente utilizados na agropecuária/indústria alimentar.

De momento, encontra-se em fase experimentação a aplicação de um conjunto de testes, à escala laboratorial, para definição da melhor tecnologia de remediação ambiental nesta região, a partir da aplicação de geomateriais a montante das descargas nas linhas de água. De entre um conjunto de geomateriais testados (óxidos de ferro de diversas naturezas, argilas (bentonite), terra rossa e pó de mármore) serão selecionados os que apresentarem maior capacidade de adsorção dos contaminantes e as condições químicas mais adequadas à imobilização destes elementos.

Tabela II. – Composição dos elementos passíveis de contaminar o meio envolvente. Sistema de classificação de acordo com o grau de contaminação presente na Portaria n.º 1450/2007 em Diário da República. Representação dos valores de máximo, mínimo e médias de todas as amostragens realizadas.

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	V	Zn	Al	Fe	Pb
	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)
Máximo	748,21	1,52	34,43	25,94	2034,69	903,05	21,81	39,16	165,77	46046,11	65825,82	46420,07
Mínimo	< 1,500	< 0,500	< 0,400	1,34	<0,500	14,96	0,03	1,18	5,20	1014,68	3341,88	2,00
Média	1,82	1,50	3,48	10,42	15,56	177,53	8,70	13,24	37,26	11386,02	19055,66	36,56

Classe 1	Material Dragado Limpo
Classe 2	Material Dragado com Contaminação Vestigial
Classe 3	Material Dragado Ligeiramente Contaminado
Classe 4	Material Dragado Contaminado
Classe 5	Material Dragado Muito Contaminado

Agradecimentos: Este trabalho é parte do Projeto “GeoMatRe – Avaliação de alternativas de remediação de massas de água afetadas por drenagem de mina, através da utilização de geomateriais”, financiado pela Fundação “La Caixa”, no âmbito do Programa Promove – Regiões Fronteiriças: La Caixa/FCT – Projeto nº PV20-0006. Os autores também agradecem o apoio do ICT, através do contrato com a FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia) - Projeto FCT—UIDB/04674/2020.

Referências:

- Oliveira, M.L.F. & Matos, J.X. (2002). The exploitation of copper ores and the settlements of Estremadura and south of Portugal during the calcolithic. *Ciências Históricas*, Univ. Portucalense, Porto, 123-138.
- Reis, A.P., Ferreira da Silva, E., Cardoso Fonseca, E., Patinha, C., Barrosinho, C. & Matos, J. (2012). Environment al Assessment of the Caveira Abandoned Mine (Southern Portugal). Part 1: Characterization of Metal Contaminated Soil, Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 21: 2, 227-254.
- Portaria nº 1450/2007 do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2007). *Diário da República: 1ª Série*, nº 217. <https://tinyurl.com/275vmpbj>
- Shepard, F.P. (1954) Nomenclature based on sand-silt-clay ratios: *Journal of Sedimentary Petrology*, 24, 151-158

Avaliação da segurança radiológica nas atividades de extração de depósitos minerais (minas) e massas minerais (pedreiras)

Radiation safety assessment in exploration of mineral deposits (mines) and mineral masses (quarries)

M. J. Trindade (1), M. Malta (1)

(1) Agência Portuguesa do Ambiente (APA), Amadora, Portugal, mjose.trindade@apambiente.pt.

Summary: *The extractive industry includes both the mining of ores and the quarrying of mineral masses. This paper addresses the reasons why the legal regime for radiation protection (Decree-Law 108/2018) obliges companies engaged in ore mining to conduct a radiation safety assessment, while nothing is stated regarding quarrying of stone and other materials, leaving it to the competent authority to decide on the need and form of assessment or control. The main reason is because mining and ore processing can give rise to materials (products, by-products, or residues) with significantly increased concentrations of radionuclides (NORM, Naturally Occurring Radioactive Materials), due to the use of industrial processes that alter the physicochemical conditions, thus disturbing the original equilibrium of decay chains and leading to selective mobilization of radionuclides. In general, the quarrying of rocks for ornamental or industrial purposes does not involve processes capable of significantly altering the environment conditions.*

Key words: radiation safety assessment, ore mining, NORM industry, quarrying

Palavras-chave: avaliação de segurança radiológica, exploração mineira, indústria NORM, pedreiras

Os radionuclídeos primordiais, como o U-238 e o Th-232, que formam cadeias de decaimento radioativo, e o isótopo K-40, encontram-se amplamente distribuídos na crosta terrestre. A sua concentração é variável de local para local dependendo das condições geológicas e geoquímicas que deram origem às rochas e solos, podendo ser elevadas em alguns granitos e minérios.

As atividades de exploração dos recursos geológicos podem levar ao aumento das concentrações de radionuclídeos naturais nos produtos, subprodutos e resíduos gerados. A exposição a estes materiais pode ter efeitos negativos na saúde e no ambiente. Os materiais radioativos naturais que foram alterados no decurso da exploração dos recursos naturais para satisfazer necessidades humanas designam-se por NORM (do inglês *Naturally Occurring Radioactive Materials*) e podem, em princípio, ser controlados tendo em vista a proteção radiológica (IAEA, 2003).

Entre os setores industriais que envolvem NORM e que podem ser regulados encontra-se a indústria extrativa, que engloba quer os depósitos minerais (minérios) extraídos em minas, quer as massas minerais, extraídas em pedreiras. Devido ao nível de intervenção humana na exploração destes dois tipos de recursos naturais, o risco radiológico e a forma de o avaliar e gerir, tem características distintas.

A extração e processamento de minérios, incluindo outros que não de urânio, produz frequentemente materiais com concentrações de radionuclídeos significativamente aumentadas devido ao uso de processos industriais de beneficiação dos minérios que alteram, de forma intencional ou não, as condições físico-químicas do ambiente. Estas alterações podem perturbar o equilíbrio original das cadeias de decaimento radioativo e levar à mobilização seletiva dos radionuclídeos, e conseqüente aumento da sua concentração nos produtos, subprodutos ou resíduos, em relação ao minério bruto (IAEA, 2003). A referida mobilização deve-se sobretudo aos processos físicos ou químicos húmidos utilizados para concentrar o minério (por exemplo, flutuação e lixiviação, entre outros), bem como aos processos térmicos usados para libertar os metais de interesse dos concentrados de minério.

Por outro lado, a atividade mineira frequentemente implica a extração de uma fração valiosa (metal ou mineral) de um corpo de minério, deixando o restante como um resíduo (por exemplo, estéril e rejeitado). Embora alguns destes resíduos NORM, nomeadamente o estéril depositado nas escombrelas, possam não ter concentrações de atividade significativamente aumentadas, eles são produzidos em grandes quantidades, o que faz

aumentar a disponibilidade para a libertação de radionuclídeos na biosfera relativamente a quando tais materiais estavam no seu estado natural inalterado, bem como faz aumentar o potencial para a exposição humana direta.

Nas pedreiras são exploradas massas minerais, como calcários, granitos, areias ou argilas, para extração de rocha ornamental ou industrial. Os processos de desmonte geralmente envolvem o corte em blocos no primeiro caso, e o rebentamento com explosivos ou processos hidráulicos no segundo. Estas formas de extração e posterior transformação não envolvem processos capazes de alterar as condições físico-químicas de modo significativo, daí existir menor potencial de a intervenção humana originar materiais radioativos naturais com concentrações aumentadas de radionuclídeos, quando comparado com a extração de minério. Ainda assim, a remoção de terras, a alteração do estado natural das rochas, a geração de poeiras e a produção de resíduos da extração podem fazer aumentar a exposição.

Os trabalhadores das minas podem ser expostos à radiação ionizante pelo contacto próximo com os NORM, sejam matérias-primas, produtos ou resíduos. A exposição depende do teor de minério, do tipo de mina, dos métodos de beneficiação usados, bem como do tempo que os trabalhadores estão sujeitos às fontes de radiação e da distância a estas. As vias de exposição podem ser variadas, designadamente a exposição externa à radiação gama, a exposição interna por inalação ou ingestão de poeiras emissoras de partículas alfa ou beta, e a inalação de radão (Rn-222), que pode ser uma via de exposição muito importante nas minas subterrâneas. A avaliação do risco radiológico baseia-se na estimativa da dose anual de radiação recebida por um indivíduo no seu posto de trabalho. Quanto à exposição do público, deve-se à disseminação de radionuclídeos no meio ambiente e depende sobretudo da gestão, tratamento e eliminação dos resíduos NORM.

A exposição devida às atividades nas pedreiras depende maioritariamente das características radiológicas da rocha. Por exemplo, numa pedreira de calcário a dose para os trabalhadores provavelmente é insignificante, dada a habitual baixa concentração

de radionuclídeos nos calcários. No entanto, as doses poderão não ser negligenciáveis quando o material extraído na pedreira é o granito, que ao apresentar concentrações mais elevadas de U, Th e K tem naturalmente maiores níveis de radiação associados. Neste caso, faz sentido avaliar a exposição resultante da radiação gama e do radão. Compreende-se, assim, que a necessidade de realizar uma avaliação da segurança radiológica da atividade desenvolvida nas pedreiras dependa de uma análise caso-a-caso.

Conhecer o contributo da atividade extrativa na exposição à radiação ionizante é de grande relevância para melhor se poder gerir o risco associado. No entanto, não tem sido prática comum fazer a monitorização dosimétrica em minas e pedreiras ou avaliar o seu impacto no ambiente, por não existir uma perceção clara do risco radiológico e por durante muito tempo não ter havido regulamentação nesta área. Contudo, este enquadramento mudou em 2019 com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 108/2018, que veio obrigar os setores industriais que envolvem NORM, incluindo a extração de minérios que não urânio (alínea *p*) artigo 60.º), mas deixando de fora a atividade extrativa em pedreiras, a realizarem uma avaliação da segurança radiológica para avaliar se a atividade origina um incremento significativo da exposição dos trabalhadores ou do público à radiação ionizante que não possa ser ignorado do ponto de vista da proteção radiológica. Nesta avaliação devem ser consideradas as vias de exposição interna e externa e os resíduos gerados no processo industrial.

O presente trabalho procura esclarecer os motivos de a exploração de depósitos minerais se reger por obrigações diferentes, em termos de proteção radiológica, da exploração de massas minerais. Esta comunicação vem na sequência do trabalho que tem vindo a ser desenvolvido pela Agência Portuguesa do Ambiente, enquanto autoridade competente para efeitos do Decreto-Lei, a nível da produção de guias e orientações sobre os procedimentos aplicados à indústria extrativa, com base na regulação das práticas que envolvem NORM e na definição de estratégias de proteção contra a radiação ionizante para atividades não geridas como práticas mas que também podem originar um certo risco de exposição.

Referências

- Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro, que estabelece o regime jurídico da proteção radiológica, transpondo para a ordem jurídica interna as disposições da Diretiva n.º 2013/59/EURATOM, do Conselho, de 5 de dezembro de 2013.
- IAEA (2003). Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation. TRS No. 419. International Atomic Energy Agency, Vienna.

Materiais de construção produzidos e usados em Portugal que podem suscitar preocupação do ponto de vista da proteção radiológica

Building materials produced and used in Portugal that may raise concern from the radiological protection point of view

M. J. Trindade (1), M. Malta (1), H. Fonseca (1), A. Santos Silva (2), D. Costa (2), F. Baptista (2), A. Pereira (3) e M. L. Dinis (4)

- (1) Agência Portuguesa do Ambiente (APA), Amadora, Portugal, mjose.trindade@apambiente.pt.
- (2) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, Portugal.
- (3) Laboratório de Radioatividade Natural, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (LRN-FCTUC), Coimbra, Portugal.
- (4) Centro de Recursos Naturais e Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (CERENA-FEUP), Porto, Portugal.

Summary: *When using geological materials for building purposes, natural radionuclides contained therein or released from them may lead to a radiation exposure of the population and therefore must be evaluated according to national radiation protection legislation. A study is being conducted by the Portuguese Environment Agency and scientific partners with the aim of identifying the building materials (BM) produced and used in Portugal that may be of concern from a radiological point of view, measuring the activity concentrations of primordial radionuclides to evaluate the activity concentration index (I) for gamma radiation, which is used as a restrictive screening tool for the identification of BM that may cause the reference level of 1 mSv per year to be exceeded. Then, the exposure doses from BM with $I > 1$ will be determined, and recommendations will be developed for the use of those BM that give rise to external doses exceeding 1 mSv. This paper presents the first results of that study, namely the BM selected for index evaluation that includes granites, as ornamental stone or as aggregates, but also cements, mortars, ceramics and some industrial by-products. The list allows characterization of the BM produced and used in Portugal that may be of concern from a radiation protection point of view.*

Key words: *building materials, exposure dose, gamma radiation, radon, radiation protection*

Palavras-chave: *materiais de construção, dose de exposição, radiação gama, radão, proteção radiológica*

Os radionuclídeos primordiais (origem terrestre) são ubíquos nas rochas e minerais. A aplicação da pedra natural na construção, como material estrutural ou de revestimento, pode promover, no interior dos edifícios, um incremento da dose de exposição à radiação ionizante. A importância dos materiais de construção (MC) como fonte de radiação ionizante depende das concentrações de atividade que apresentam e da forma e quantidade com que são aplicados na construção, contribuindo tanto para a dose externa gama, proveniente das cadeias de decaimento do U-238 e do Th-232, e do radionuclídeo K-40, como para a dose interna devida à inalação do radão (Rn-222) (IAEA, 2021).

A Diretiva 2013/59/Euratom, que fixa as normas de segurança para a exposição a radiações ionizantes, define metodologias para avaliar e limitar o conteúdo radiológico dos MC e evitar o incremento significativo do fundo radioativo natural e da dose absorvida pelos ocupantes dos edifícios. O Decreto-Lei 108/2018

transpõe a diretiva europeia para a ordem jurídica interna e estabelece as atribuições da Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Entre estas, destaca-se a identificação e controlo dos MC com libertação significativa de radão e que suscitam preocupação do ponto de vista da proteção radiológica devido à exposição externa à radiação gama. Segundo a legislação em vigor, a contribuição dos MC para a radiação gama externa deve ser avaliada por meio de um índice baseado na estimativa das concentrações de atividade dos radionuclídeos primordiais Ra-226, Th-232 (ou o produto de desintegração Ra-228) e K-40, que se obtém pela fórmula: $I = C_{Ra-226}/300 \text{ Bq/kg} + C_{Th-232}/200 \text{ Bq/kg} + C_{K-40}/3000 \text{ Bq/Kg}$, conforme o anexo III do Decreto-Lei.

Uma lista geral deste tipo de MC é apresentada na legislação referida, englobando quer os materiais naturais, como o granito, quer os materiais que incorporam resíduos de indústrias que processam material radioativo natural, como as cinzas volantes.

No entanto, para que a APA possa desempenhar as suas atribuições deve ter conhecimento específico da situação em Portugal e adaptar esta lista em conformidade. Nesse sentido, está a desenvolver um estudo em parceria com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), o Laboratório de Radioatividade Natural da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (LRN-FCTUC) e o Centro de Recursos Naturais e Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (CERENA-FEUP), com o objetivo de identificar os MC fabricados e usados em Portugal que suscitem preocupação radiológica, e sensibilizar os setores industriais para a necessidade de controlo radiológico dos seus materiais, adoção de medidas de mitigação da exposição em edifícios onde esses materiais são aplicados ou de restrições ao seu uso.

O estudo consiste na: i) identificação e seleção para ensaio de MC comuns em Portugal com potencial de suscitar preocupação radiológica, ii) medição das concentrações de atividade do Rn-222 (radão) e do Ra-226, Th-232 e K-40 (radiação gama) e cálculo do índice (I) para a radiação gama emitida pelos MC, iii) avaliação das doses de exposição à radiação gama e radão dos MC cujo $I > 1$; iv) elaboração de recomendações sobre a utilização de MC cuja dose de exposição externa seja superior a 1 mSv/ano.

Neste trabalho apresenta-se a lista dos materiais naturais, subprodutos e produtos industriais utilizados na construção selecionados para a

avaliação do índice (I), que resultou da primeira fase do estudo (LNEC, 2022). A listagem teve por base informação obtida de estudos internacionais acerca da radioatividade natural em MC, dados de produção e do seu consumo em Portugal, e o conhecimento existente no LNEC acerca do fabrico e uso na indústria da construção nacional e a distribuição geográfica dos principais centros produtores.

O estudo mostrou ser relevante a determinação do índice (I) em cerca de 40 tipos de materiais naturais, com maior expressão nas rochas graníticas ornamentais e agregados graníticos para fabrico de argamasas e betões, e em cerca de 50 produtos da construção, designadamente ligantes hidráulicos, argamassas e produtos cerâmicos. Apesar de esta listagem ser necessariamente reduzida dada a diversidade de materiais e produtos de construção disponíveis no mercado, constitui uma forma de operacionalizar uma primeira abordagem à caracterização dos MC de fabrico e utilização no país suscetíveis de preocupação radiológica.

Este estudo permite aumentar o conhecimento sobre os materiais geológicos usados para fins de construção que podem contribuir para a exposição externa da população à radiação gama no interior dos edifícios em Portugal, ajudando no estabelecimento de metodologias eficazes de proteção à exposição às radiações ionizantes.

Referências

- IAEA (2021). Protection against exposure due to radon indoors and gamma radiation from construction materials - Methods of prevention and mitigation. IAEA-TECDOC-1951. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- LNEC (2022). Estudo dos materiais de construção que suscitem preocupação do ponto de vista radiológico. Relatório da primeira fase. Relatório 329/2022. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro, que estabelece o regime jurídico da proteção radiológica, transpondo para a ordem jurídica interna as disposições da Diretiva n.º 2013/59/EURATOM.
- Diretiva 2013/59/EURATOM, do Conselho, de 5 de dezembro de 2013, que fixa as normas de segurança de base relativas à proteção contra os perigos resultantes da exposição a radiações ionizantes.

Avaliação ambiental da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, Brasil

Environmental assessment of the Jequitinhonha River basin in Minas Gerais State, Brazil

R. Vicq (1), J. Ronque (2), M. A. Fujaco (2), M. Leite (3) e E. Marques (4)

(1) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, Braga, Portugal, raphaelcosta@dct.uminho.pt

(2) Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro s/n, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

(3) Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Summary: *The hydrographic basin of the Jequitinhonha river has an extensive area, occupying the states of Minas Gerais (mostly) and Bahia, characterized by many heterogeneities. This work presents an environmental study of the basin's mining sector. Based on data from rainfall and fluviometric stations, historical series of rainfall, flows and suspended sediments were analyzed, as well as temporal data on use and occupation land. In order to understand the influence of mutual interference between different agents, concentration data of PTE (potentially toxic elements), As, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, U, Zn, were used in stream sediments from drainages of 1^o and 2^o order, from which environmental indices were calculated. It was possible to identify the presence of a Hydroelectric Power Plant operating from 2007, in addition to verifying points of fragility to contamination. The multielement indices made it possible to indicate the regions of the municipalities most affected by contamination/pollution by PTE and to establish correlations between the most contaminated regions and the geology of the area.*

Key words: *environmental indices, stream sediment, potentially toxic elements*

Palavras-chave: *índices ambientais, sedimentos de corrente, elementos potencialmente tóxicos*

A bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha (BHRJ) está situada majoritariamente no estado de Minas Gerais (93,38%), contando com um pequeno setor no estado da Bahia (6,62%). Apresenta uma área de 70.315 km², com uma rica diversidade de condições climáticas, geomorfológicas, geológicas, vegetacionais e sociais (Lacerda, 2005; Gontijo, 2001), incluindo setores de índice de pobreza elevados que contam com graves deficits hídricos somados a um clima de aridez (Ferreira, 2007).

Considerando a escassez de recursos hídricos, e a distribuição irregular de chuvas durante o ano (Borsoi e Torres, 1997), este trabalho apresenta um estudo ambiental da porção da bacia hidrográfica pertencente ao estado de Minas Gerai, subdividida nas unidades de gestão Alto Jequitinhonha, Rio Araçuaí e Médio-Baixo Jequitinhonha, visando contribuir para a gestão dos recursos no que se refere à qualidade e disponibilidade de água.

Metodologia

A partir de imagens de satélite, foram analisados e integrados dados temporais de uso e ocupação da área. Com base em dados de estações pluviométricas e fluviométricas, foram analisadas séries históricas de pluviosidade, e de vazões e sedimentos em

suspensão (do Médio-Baixo Jequitinhonha, setor sob influência das operações da barragem de uma Central Hidrelétrica de Energia, identificada pelas imagens de satélite).

Além disso, visando compreender a influência da interferência mútua entre diferentes agentes, também foram utilizados dados de sedimentos de corrente, em 461 pontos de amostragem, no ano de 2011, de drenagens de 1^a e 2^a ordem, analisados por ICP-OES e ICP-MS, a partir dos quais calculou-se índices ambientais multielementares (Índice de Carga de Poluição, Potencial de Risco Ecológico, Grau de Contaminação Modificado, Índice de Poluição), para os elementos potencialmente tóxicos (EPT) As, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, U, Zn. Com os índices calculados, foi utilizado o método Inverse Distance Weighted, com 12 pontos de vizinhança, para observar a distribuição espacial de pontos críticos.

Resultados e Discussão

Foi identificado pelas imagens de satélite que a partir de 2007 o limite entre o Alto Jequitinhonha e Médio-Baixo Jequitinhonha passou a ter a atuação da Central Hidrelétrica de Energia (CHE) Irapé, situada no município de Grão Mogol. Sendo assim, o ano de

2007 foi adotado como referência para as análises de pluviometria e fluviometria.

Após 2007, o Médio-Baixo Jequitinhonha sofreu reduções na sua vazão, provocadas pela atuação da barragem da CHE. Dominado pelo clima semiárido, foi também o setor que mais sofreu reduções de pluviosidade nesse período, tornando-o mais frágil a contaminações, visto que a capacidade de autodepuração no sistema foi reduzida. Verificou-se, além disso, que houve redução de sedimentos transportados à jusante da barragem, e essa redução fortemente verificada comparando-se as estações chuvosas.

Com relação aos índices multielementares, verificou-se que o Fator de Enriquecimento (FE) calculado mostrou que a maior parte das amostras apresentam deficiência de enriquecimento ou enriquecimento moderado para os EPTs, sendo o valor médio de todos os FEs classificados no máximo em moderado, sugerindo que a maior parte dos sedimentos amostrados são provenientes de fontes naturais. (Kuchenbecker, 2018)

O valor médio do Fator de Contaminação (FC) determinado mostra que a maioria das amostras se enquadra na classe de contaminação moderada, com raras com contaminação considerável a elevada (4,34% das amostras para As, 31,67% para Cd, 9,55% para Co, 10,38% para Cr, 3,03% para Cu, 9,11% para Mn, 5,86% para Mo, 8,24% para Ni, 2,39% para Pb, 15,4% para U, 5,21% para Zn).

O Índice de Geoacumulação (Igeo) mostrou que a maior parte das amostras são não poluídas a moderadamente poluídas. No entanto, verificou-se que em alguns pontos da bacia hidrográfica apresentaram níveis de poluição acima de moderada (5,43% para Co, 3,68% para Cr, 1,74% para Cu, 6,73% para Mn, 3,47% para Ni, 1,30% para Pb, 10,19% para U e 2,39% para Zn). Todos os elementos apresentam uma maior acumulação na região do Rio Araçuaí,

exceto U, cujas amostras com poluição alta a altamente poluído se localizam também na região centro-leste Médio-Baixo Jequitinhonha.

Os índices multielementares, em conjunto, possibilitaram indicar as regiões dos municípios mais afetados por contaminações/poluições por EPTs (Fig. 1). Constatou-se que o setor do Médio-Baixo Jequitinhonha foi fortemente impactado pela redução dos fluxos (sem ocorrência de picos) e pela carga sedimentar, derivada da operação da CHE localizada no Alto Jequitinhonha. Esses fatores são responsáveis por reduzir a velocidade do fluxo de água, aumentando o tempo disponível para sedimentação de EPT e, possivelmente, aumentando a toxicidade dos sedimentos neste setor. Sugere-se, portanto, que os recursos hídricos dessa região sejam constantemente monitorados, a fim de evitar o consumo de água possivelmente contaminada.

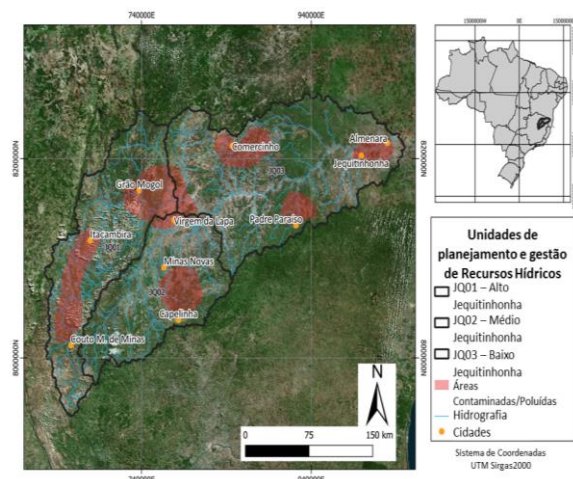


Fig. 1. Localização dos setores de potencial de contaminação/poluição na bacia do rio Jequitinhonha, estado de Minas Gerais.

Agradecimentos: Os dados hidrológicos utilizados foram adquiridos pelo sistema aberto da Agência Nacional de Águas (ANA), e os dados químicos dos sedimentos foram cedidos pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Referências

- Borsoi, Z.M.F.; Torres, S. D. A., 1997. A política de recursos hídricos no Brasil. Revista do BNDES, 4, (8), 143-166.
- Ferreira, V.O., 2007. Paisagem, Recursos Hídricos e Desenvolvimento Econômico na Bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerias, Belo Horizonte. 313.
- Gontijo, B.M., 2001. Implicações do plantio generalizado de eucaliptos no empobrecimento social e da biodiversidade do alto/médio Jequitinhonha – MG. Boletim Paulista de Geografia, São Paulo, 57-77.
- Kuchenbecker M. 2018. Evolução Geológica dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri: uma revisão. Revista Espinhaço, 7 (1): 53-64.
- Lacerda, de O.L., 2005. Paisagem e potencial turístico no Vale do Jequitinhonha. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

O Chumbo na Província Mineira do Quadrilátero Ferrífero, Brasil: mapeamento Geoquímico e Valores de Referência

Lead in the Iron Quadrangle Mining Province, Brazil: geochemical mapping and reference values

R. Vicq (1), T. Valente (1), L. Leão (2), M. Leite (2) e H. A. Nallini Júnior (2)

- (1) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, Braga, Portugal, raphaelcosta@dct.uminho.pt
 (2) Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil

Summary: *The growing industrialization associated with mining expansion has provided the pollution of environmental reservoirs, among which Pb stands out due to its neurotoxic character. In the Iron Quadrangle, in Minas Gerais, Brazil, Pb occurs mainly associated with Fe, which has a wide distribution and high concentrations in the region. In this context, a regional study carried out the collection and analysis of 541 samples of surface water and stream sediments in stretches of third-order basins throughout the entire area. Pb concentrations in stream sediments ranged from 1 to 107 mg.kg⁻¹, with a reference value of 59 mg.kg⁻¹ based on the boxplot Upper Inner Fence (UIF) methodology. In surface waters, Pb had a median value of 8.3 µg.L⁻¹, considerably higher than that observed in Europe. Most of the anomalies were found in rivers draining phyllites and itabirites, in locations impacted by mining*

Key words: *Minas Supergroup, mining impact, Pb distribution, background values, anomalies*

Palavras-chave: Supergrupo Minas, impacto mineiro, distribuição do Pb, valores de referência, anomalias

O Pb apresenta um teor médio na crosta terrestre de 14 mg.kg⁻¹, sendo encontrado como componente principal em vários minerais, e.g. galena, anglesite e cerussite (Reimann e Caritat, 1998). Segundo Capitani *et al.* (2009) o Pb é bioacumulável, donde resulta o seu potencial risco ecológico. Igualmente, apresenta risco para a saúde humana, podendo causar doenças de carácter neurotóxico, incluindo doença de Parkinson, saturnismo, doenças cognitivas e neurodegenerativas, além de perturbações no sistema motor, danos nos rins e abortos.

O Quadrilátero Ferrífero (QF) é conhecido mundialmente por sua variedade de tipos litológicos e intensa atividade de mineração que contribui para a disponibilização de elementos traço (Reimann e Caritat, 1998). Para além disso, Leão *et al.* (2019) relataram uma afinidade relevante entre o Pb e os depósitos de ferro e manganês amplamente encontrados na região. Entretanto, até à data deste trabalho nenhum estudo tinha sido feito em todo o QF, contemplando os teores de Pb nas águas superficiais e sedimentos fluviais. Diante deste cenário, o objetivo deste estudo é apresentar um mapeamento geoquímico das concentrações de Pb em águas superficiais e sedimentos de corrente e conduzir à determinação de valores de referência para a área de estudo.

Materiais e métodos

O QF é uma das mais importantes províncias mineiras do mundo, situado no estado de Minas Gerais, na região sudeste do Brasil, entre as coordenadas 19°45' até 20° 30' S e 44°30' até 43°07' W (Fig. 1). Foram coletadas 541 amostras de águas e sedimentos nas bacias de 3ª ordem, entre os anos de 2013 e 2015. As amostras de água foram filtradas de acordo com a metodologia USEPA (2001).

O Pb foi analisado por ICP-OES. Para a definição dos valores de referência foi adotada a metodologia Boxplot Upper Inner Fence (UIF) e para a representação dos mapas utilizou-se o software ArcGis, sendo aplicada a ferramenta geoestatística de interpolação IDW.

Resultados e Discussão

A concentração média de Pb nos sedimentos é de 23 mg.kg⁻¹ (Tabela I), 1,6 vezes maior que a média da crosta terrestre (Reimann e Caritat, 1998). O Pb apresentou uma distribuição espacial (Fig. 2) muito semelhante ao Fe, com anomalias conjuntas dos dois elementos em 72% dos pontos amostrados. Para os sedimentos, a distribuição espacial do Pb demonstrou concentrações relativamente baixas em 78% da área, na faixa de 1 a 32 mg.kg⁻¹ (Tabela II), que pode ser considerado como background regional. Os altos valores de referência situaram-se entre 32 e 59 mg.kg⁻¹ e abrangem 20% da área, estando

estritamente relacionados aos filitos e itabiritos do Supergrupo Minas. As anomalias ($> 59 \text{ mg.kg}^{-1}$) foram encontradas em sua maioria na região central e oeste do QF, onde 21 pontos demonstraram concentrações entre $38\text{--}70 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Fig. 2a).

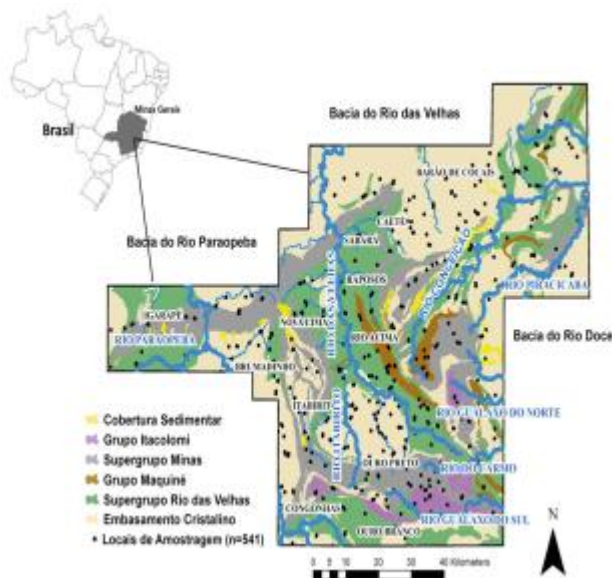


Fig. 1. Mapa geológico simplificado do QF com os pontos de amostragem (Leão et al. 2019).

Com relação às águas superficiais, o Pb apresentou um valor mediano de $8,3 \mu\text{g.L}^{-1}$, consideravelmente superior ao observado na Europa (mediana $0,093 \mu\text{g.L}^{-1}$) (FOREGS, 2005).

A maioria das amostras (76%) apresentou valores de Pb de até $29,4 \mu\text{g.L}^{-1}$, o que pode ser considerado como valores de referência regional. Noventa amostras com concentrações de Pb acima de $51,6 \mu\text{g.L}^{-1}$, o que representa 16,6% do total, foram encontradas em todas as bacias hidrográficas. Na bacia do rio Paraopeba, em rios que drenam sobre os filitos e itabiritos, em locais impactados pela mineração, foram registados valores entre $58,7$ e $183,4 \mu\text{g.L}^{-1}$. (Fig. 2b).

Tabela I Estatística Descritiva dos teores de Pb nos sedimentos e águas superficiais do Quadrilátero Ferrífero Pb - 541 amostras de sedimentos de corrente e águas superficiais do Quadrilátero Ferrífero.

	Min	Q1	Q2	Q3	Máx	Méd
Pb (mg.kg^{-1}) Sedimentos	1	13,7	21	32	107	23
Pb ($\mu\text{g.L}^{-1}$) Águas Supf.	7,2	7,2	8,3	29,4	214,7	26

Tabela II Faixas de Concentração e Classificação de Valores de Referência para o Pb - sedimentos de Corrente e águas superficiais.

	Sedimentos	Águas Superficiais	Classificação
Pb	$< 1 - 32$	$< 7,2 - 29,4$	Background
	$32-59$	$29,4 - 51,6$	Alto Valor de Referência
	>59	$> 51,6$	Anomalias

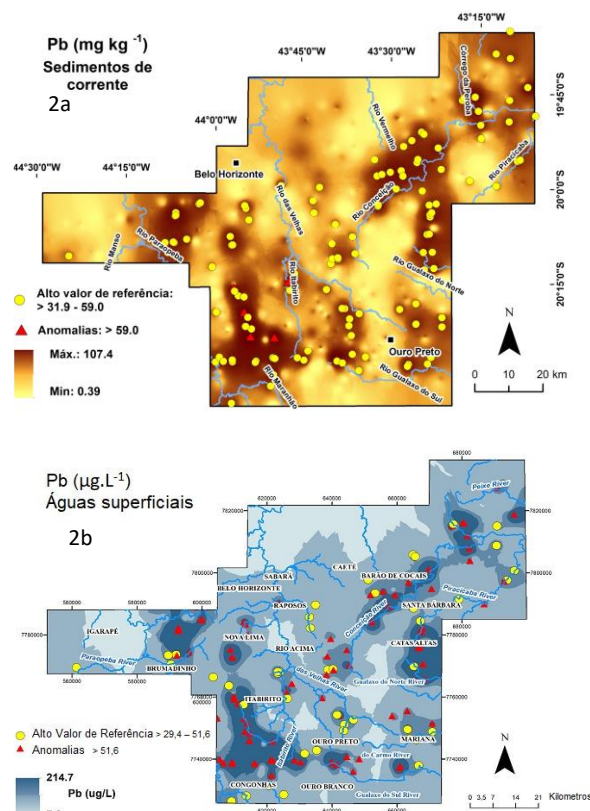


Fig. 2. Mapa geoquímico do Pb para o QF para sedimentos (a) e águas superficiais (b).

Referências

- Capitani, E. M., Paoliello, M. M. B. & Almeida, G. R. C. (2009). Fontes de exposição humana ao Pb no Brasil, *Medicina* (Ribeirão Preto): 42 n. 3.
- FOREGS (2005). EuroGeoSurveys: Geochemical Baseline Database, Geochemical Atlas of Europe.
- Leão, L. P; Vicq R. F. C.; Leite, M. G. P & Nalini Jr, H. A. (2019). Mn Geochemical Mapping and Quality Assessment of Fluvial Sediments and Surface Waters of Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 42-2, 469-480.
- Reimann C & Caritat P. (1998). Chemical elements in the environment. Factsheets for the geochemist and environmental. Springer, Heidelberg; 398 p
- USEPA (2001) Sediment sampling guide and methodologies. USEPA Division of Surface Water. Columbus 2:1–35.

Índices Multi-elementares como abordagem para avaliação da Qualidade dos Sedimentos Fluviais do Quadrilátero Ferrífero, Brasil

Multi-elementary Indices for Assessment of the Quality of River Sediments in the Iron Quadrangle, Brazil

R. Vicq (1), T. Valente (1), L. Leão (2), M. Leite (2) e H. A. Nallini Júnior (2)

(1) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, Braga, Portugal, raphaelcosta@dct.uminho.pt

(2) Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil

Summary: The objectives of this study were to evaluate the environmental quality and the ecological state of the river sediments of the Iron Quadrangle through the calculation of multielementary quality indices for the elements As, Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn. Additionally, since the river basins in the region have been historically anthropized by mining, the present study also aims to assess possible association with active and abandoned mines. The following indices were calculated: Potential Ecological Risk Index (RI), Modified Pollution Degree (mCd), Pollution Index (PI), and Modified Pollution Index (MPI). The PI, MPI and RI distributions indicate a large area of the Iron Quadrangle with strong sediment pollution, especially in the basins of the das Velhas River, Conceição River, and Gualaxo do Norte River.

Key words: Fluvial sediments, environmental quality, Iron Quadrangle.

Palavras-chave: Sedimentos fluviais, qualidade ambiental, Quadrilátero Ferrífero.

O estado da arte demonstra que os sedimentos fluviais próximos às atividades mineiras tendem a apresentar concentrações de EPT muito acima dos valores médios para a crosta e de background regionais (Leão et al., 2019). Este é o caso do Quadrilátero Ferrífero (QF), Brasil, que é reconhecido mundialmente pelas ocorrências de Au, Fe e Mn.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade ambiental e o estado ecológico dos sedimentos fluviais do QF através do cálculo de índices de qualidade multielementares para os elementos As, Cd, Cr, Cu, Pb e Zn e as possíveis associações às atividades mineiras da região. Foram calculados os seguintes índices: Índice de Potencial Risco Ecológico (RI), Grau de Contaminação Modificado (mCd), Índice de Poluição (PI) e Índice de Poluição Modificado (MPI).

Materiais e métodos

Coletaram-se 541 amostras de sedimentos fluviais nos exutórios das bacias de 3ª ordem do QF (Fig. 1), o que resultou em uma densidade amostral de 1 amostra a cada 13 km². A fração menor que 63 µm foi sujeita a digestão por água régia e posteriormente analisadas via ICP-OES. O potencial de risco ecológico RI pode ser calculado de acordo com as equações a seguir (Håkanson, 1980):

$$RI = \sum_{i=1}^n Er \quad Er = Ti \cdot \frac{Cn}{Bn}$$

em que Er é o potencial de risco ecológico de um contaminante; Ti, reposta tóxica dos metais (As = 10; Cu = Pb = 5; Zn = 1; Cr = Ni = 2; Cd = 30); Cn, é a concentração do metal i no sedimento; e Bn, o valor de referência regional do metal i no sedimento.

Os outros índices são calculados pelas seguintes equações abaixo:

$$mCd = \sum_{i=1}^n C_f^i \cdot n^{-1} \quad (\text{Hakanson, 1980})$$

$$PI = \frac{\sqrt{(Cf \text{ médio})^2 + (Cf \text{ max})^2}}{2} \quad (\text{Nemerow, 1991})$$

$$MPI = \frac{\sqrt{(Ef \text{ médio})^2 + (Ef \text{ max})^2}}{2} \quad (\text{Brady et al., 2015})$$

Resultados e Discussão

A Tabela I apresenta os resultados das estatísticas descritivas básicas dos elementos analisados, bem como os valores de referência local (Vicq, 2015). Os resultados dos índices mCd, PI e MPI apontam para níveis de poluição variáveis, sendo o mCd mais conservador, indicando cerca de 82% das amostras sem poluição por EPT. Já os índices PI e MPI classificam respetivamente 19,96% e 12,20% das amostras como poluição forte (Tabela II).

Os valores dos índices de multielementos (mCd, PI, MPI e RI) foram dispostos juntamente com as áreas de concessão de lavra para Au, Fe e Mn, que são os principais recursos metálicos explorados no QF, bem como atividades mineiras paralisadas (Fig. 2). No intuito de verificar os locais em piores condições de

qualidade em relação aos três índices calculados, foram utilizadas apenas as classes $mCd > 32$, $PI > 3$ e $MPI > 10$, que indicam poluição forte e $RI > 600$ contaminação alta.

Tabela I Valores máximos e mínimos e VRL dos elementos analisados no QF (Vicq, 2015).

Valores (mg/kg)	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
Min	1,6	0,4	0,2	0,3	1	1,6
Máx	1690	23	2580	233	107	340
Média	18,1	1,1	133	23	23	51
VRL	6,1	0,9	128	33	32	60

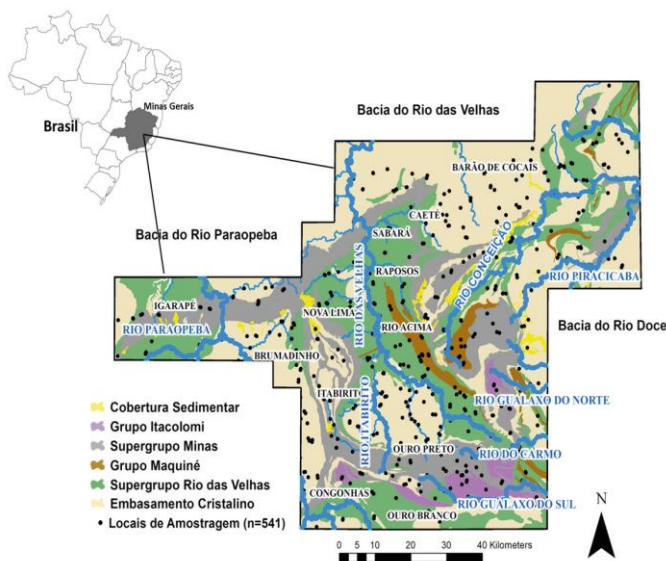


Fig. 1. Mapa geológico simplificado do QF com os pontos de amostragem (Leão et al. 2019).

As distribuições do PI, MPI e RI indicam uma grande área do QF com poluição forte dos sedimentos, sobretudo nas bacias do rio das Velhas próximo a Nova Lima e Caeté, bacia do rio Conceição e rio Gualaxo do Norte. Estas são bacias historicamente

ocupadas por atividades mineiras, o que pode ser visto pelas áreas de concessão de lavra (Fig. 2).

Tabela II Percentagem de amostras por classe de qualidade definida para mCd, PI e MPI.

Qualidade do Sedimento	%mCd	%PI	%MPI
Sem poluição	82,07	26,06	14,79
Ligeiramente poluído	7,02	19,78	19,04
Poluição moderada	6,65	26,62	17,38
Poluição moderada a forte	2,77	---	17,93
Poluição severa	1,29	7,58	18,67
Poluição forte	---	19,96	12,20
Extrema poluição	0,18	---	---

O mapa apresentado indica a localização dos pontos críticos, delineando as localidades e cidades que estão expostas a este risco ambiental. Esta abordagem é, pois, uma ferramenta de suporte à tomada de decisões quanto à definição de intervenções e medidas de proteção pelas autoridades responsáveis.

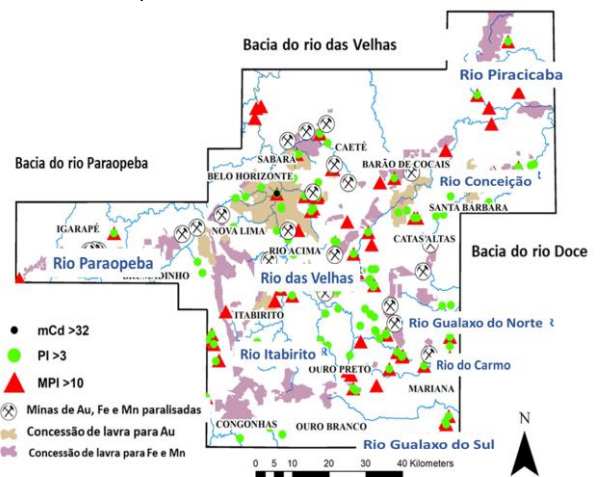


Fig. 2. Mapa com a distribuição das áreas de concessão de lavra para Fe e/ou Mn e Au, atividades mineiras paralisadas de Fe e Au, principais cursos d'água e ocorrência de amostras com $PI > 3$, $mCd > 32$, $RI > 600$.

Referências

- Brady, J.P., Ayoko, G.A., Martens, W.N. & Goonetilleke, A. (2015). Development of a hybrid pollution index for heavy metals in marine and estuarine sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187:306.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res*, 14: 975-1001.
- Leão, L. P., Vicq R.F.C., Leite, M.G.P. & Nalini Jr, H.A. (2019). Mn Geochemical Mapping and Quality Assessment of Fluvial Sediments and Surface Waters of Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 42 - 2: 469-480.
- Nemerow, N L. Stream, lake, estuary, and ocean pollution, 2nd edition. United States.
- Vicq, R., Matschullat, J., Leite, M.G.P., Nalini Junior, H.A. & Mendonça, F.P.C. (2015). Iron Quadrangle stream sediments, Brazil: geochemical maps and reference values. *Environmental Earth Sciences*, 74: 4407-4417.

Remediação: a importância das propriedades geológicas e hidrogeológicas na seleção da tecnologia

Remediation: the importance of geological and hydrogeological properties in technology selection

E. Zuben (1, 2), P. Caetano (3) e C. Costa (1)

(1) eGiamb - Consultoria Geoambiental, Lda., Caparica, Portugal, erika.vzuben@gmail.com

(2) FCT NOVA, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal

(3) Geobiotec-Pólo NOVA, FCT NOVA, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal

Summary: *Understanding the processes and interactions that may occur between compounds and the environment, as well as determining the physicochemical properties and transport mechanisms of these compounds is essential to mitigate health risks, and the only way is to reduce the associated uncertainties to obtain representative data is to develop a robust conceptual model.*

Key words: *contaminated land, uncertainty, risk, conceptual model*

Palavras-chave: *área contaminada, incerteza, risco, modelo conceptual*

Com a atual necessidade de lidar com a contaminação do solo e da água subterrânea e, consequentemente, com os efeitos adversos para a saúde humana, torna-se necessária, não apenas a compreensão do elevado número de processos e interações que podem ocorrer entre os compostos químicos e o meio, como também, a determinação das propriedades físico-químicas e dos mecanismos de fluxo e transporte desses contaminantes, de modo a que seja feita a seleção da tecnologia mais indicada para remediação e, consequentemente, a mitigação do risco para saúde humana.

O principal desafio na seleção da técnica de remediação é o de reduzir, ao máximo, as incertezas associadas às propriedades físico-químicas dos contaminantes, obter concentrações representativas da contaminação existente e compreender o mecanismo de fluxo e transporte desses contaminantes.

Frequentemente, a incerteza é subestimada, especialmente nos casos em que poucas amostras são recolhidas, poucos compostos são analisados, e as propriedades hidrogeológicas são apenas inferidas. Como resultado, tem-se uma má caracterização da área, o que, por sua vez, pode levar a uma seleção de técnicas de remediação ineficientes (James & Gorelick, 1994).

No entanto, tendo em consideração a impossibilidade de dirimir todas as incertezas inerentes a esses cenários, é necessário reunir o maior conjunto de informações possível, e a melhor ferramenta para

redução das incertezas é a construção de um modelo conceptual hidrogeológico robusto e representativo.

Após a compreensão do modelo conceptual final e definidos os objetivos de remediação para cada meio contaminado, é necessário selecionar as alternativas de remediação possíveis para o cenário específico, tendo em consideração que as técnicas devem reduzir significativamente a massa, a toxicidade e a mobilidade dos contaminantes.

Com as alternativas de remediação aplicáveis ao caso concreto, é essencial verificar se os dados químicos e geológicos necessários para cada uma das tecnologias estão disponíveis, ou se ainda é necessária uma investigação para remediação. Cada tipo de contaminante e cada alternativa técnica requer um conjunto de dados, sem os quais o sucesso da remediação pode estar comprometido.

Há que se ainda ter em conta que, em muitos casos, devido às condições complexas do meio, pode ser necessário combinar duas ou mais técnicas de remediação.

A seleção da tecnologia mais eficaz é uma função do contaminante, da sua reatividade e mobilidade. A facilidade com que o contaminante se move em subsuperfície determina quão extenso e quão difícil será para remediar; a sua reatividade, seja química ou biológica, determina se o tratamento *in situ* pode ser usado ou se a contenção ou remoção física é mais eficaz; e as propriedades físico-químicas como volatilidade, densidade e solubilidade acabam por determinar a necessidade de mais de uma técnica combinada.

Portanto, garantir o desempenho de um sistema de remediação, requer caracterizar o mecanismo de fluxo e transporte dos contaminante, e isso envolve determinar a condutividade hidráulica, o coeficiente de armazenamento, a transmissividade, a porosidade, a dispersividade e a taxa de recarga. Aquíferos heterogêneos influenciam a direção do fluxo, a baixa permeabilidade restringe o fluxo, e o fluxo da pluma em meios porosos saturados ocorre preferencialmente por advecção e, em menor grau, por dispersão hidrodinâmica, sendo que a primeira faz com que uma pluma se mova na direção e na taxa de fluxo de águas subterrâneas, e a segunda promove o aumento do volume da pluma e diminuição da concentração máxima.

Já o transporte de contaminantes reativos é influenciado por processos adicionais, como sorção, dessorção e reações químicas e/ou bioquímicas, e tanto os processos de sorção-dessorção como os de transformação são importantes no controle da migração e distribuição dos contaminantes.

Alguns desses processos tendem a retardar a migração e agir como mecanismos de atenuação da concentração. Em razão dos seus efeitos, a pluma de um contaminante reativo expande-se mais lentamente, apresentando uma tendência da contaminação permanecer mais próximo da fonte e com concentração menor do que a de um contaminante não reativo equivalente.

Portanto, os processos químicos que podem ocorrer entre o solo e o contaminante em solução durante a migração num meio poroso são de grande importância, pois, de maneira geral, causam um retardamento no fenômeno do transporte, e essa informação é fundamental para o dimensionamento da remediação. Para compreensão dos processos químicos, algumas propriedades exercem forte influência nas reações, como a composição mineralógica do solo, a concentração do contaminante, o tipo de substância, o pH e a temperatura.

Referências

- James, B. R. & Gorelick, S. M. 1994. *When enough is enough: The worth of monitoring data in aquifer remediation design*. Water Resources Research. Vol. 30, no. 12, pp. 3499-3513.
- Knop, A. (2004). Estudo dos fenômenos de transporte em solos. Relatório redigido para a disciplina Novos Materiais Geotécnicos, curso de doutoramento PPGEC/UFRGS.

Perante isso, as seguintes propriedades dos contaminantes são essenciais para caracterizar o transporte dos contaminantes, uma vez que influenciam diretamente a mobilidade das águas subterrâneas. Solubilidade: determina o grau em que o produto químico se dissolverá na água. Alta solubilidade indica tendências de sorção baixas. Constante da Lei de Henry e pressão de vapor: valores altos indicam alta tendência a volatilização. Densidade: a densidade do produto indica a sua posição no aquífero. Em vazamentos de LNAPL (*light non-aqueous phase liquid*), a migração na zona não saturada ocorre predominantemente na vertical em fluxo descendente e o espalhamento lateral ocorre pelo efeito de forças capilares, em que parte do NAPL fica retido nas partículas do solo e parte migra até atingir a zona saturada. Já a migração de DNAPL (*dense non-aqueous phase liquid*) ocorre de forma semelhante na zona não saturada, entretanto, devido à maior densidade, a migração lateral é reduzida na zona não saturada, mas ao atingir a água, a migração continua verticalmente e uma fase residual se forma tanto na zona não saturada, como na zona saturada. (Knop, 2004)

A identificação das incertezas é de extrema importância para avaliar a magnitude da contaminação e ter conhecimento desses elementos é condição *sin ne qua non* para definição da melhor estratégia para mitigar o risco.

O estudo de caso apresentado refere-se a uma área localizada em São Paulo/Brasil em que não foi seguido esse protocolo, e o insucesso da remediação foi apenas comprovado quase 10 anos depois.

Amostragem passiva de vapores orgânicos presentes no solo: uma abordagem económica de investigação

Passive sampling of organic vapours present in the soil: an economic research approach

E. Zuben (1, 2), P. Caetano (3), C. Costa (1) e D. Vendas (1)

(1) eGiamb - Consultoria Geoambiental, Lda., Caparica, Portugal, erika.vzuben@gmail.com

(2) FCT NOVA, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal

(3) Geobiotec-Pólo NOVA, FCT NOVA, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal

Summary: *At sites impacted by volatile organic compounds (VOCs), vapour intrusion (VI) is the pathway with the greatest potential to result in actual human exposure. The intrusion of volatile and semi-volatile compounds into structures has become a dominant environmental topic. Vapour sampling of soil gas and air provides a direct measurement of these compounds in order to evaluate health risks.*

Key words: *contaminated land, uncertainty, risk, conceptual model*

Palavras-chave: *sítio contaminado, incerteza, risco, modelo conceptual*

A intrusão de vapor (IV) ocorre quando produtos químicos voláteis e semivoláteis são derramados ou despejados no solo e, em condições favoráveis, volatilizam e migram em direção à superfície por diferença de concentração e pressão e atingem estruturas edificadas.

Os vapores podem entrar nas residências por diversos trajectos, incluindo fendas, aberturas na fundação ou no piso, juntas de dilatação em laje de betão, tubagem de esgoto.

Por essa razão, a IV é considerada a via de exposição humana mais significativa em locais afetados por compostos orgânicos voláteis (COVs) e semivoláteis (SCOVs) porque, na maioria das vezes, é a via com maior potencial para resultar em exposição humana real.

Diversos fatores ou atividades podem criar uma fonte de vapor no subsolo, entre os mais comuns estão vazamentos em tubagens e em tanques subterrâneos, presença de produto não aquoso em fase livre, instalações que utilizam solventes e desengordurantes durante as operações, descarte subterrâneo histórico de resíduos industriais, etc, (Fig. 1).

O modelo conceptual de transporte de vapor em subsuperfície pode ser controlado por quatro processos principais: (i) difusão, ocorre quando há diferenças espaciais nas concentrações de COV/SCOV na subsuperfície; os vapores se difundem na direção das concentrações mais baixas; (ii) advecção, ocorre

quando há movimento em massa do gás do solo induzido por diferenças espaciais na pressão do gás no solo; (iii) partição de fase, refere-se aos processos que levam à distribuição de COV entre o gás do solo, a fase dissolvida na água dos poros do solo e a fase sorvida nas superfícies das partículas do solo. A partição de fase retarda o transporte de vapor contaminante na subsuperfície; (iv) degradação, geralmente associada à biodegradação, na qual os COVs/SCOVs são convertidos em outros produtos químicos por microrganismos no subsolo.

À medida que os COVs/SCOVs se movem pela zona vadosa para o ar interior das edificações as concentrações diminuem. No entanto, a extensão da atenuação depende de (i) características do subsolo como granulometria, humidade, coeficiente de sorção para carbono orgânico do solo (Koc) e da fração de massa de carbono orgânico no solo (foc) que podem dificultar a difusão e a advecção. A constante de solubilidade da Lei de Henry também pode influenciar o transporte quando o teor de humidade é alto e a constante é muito baixa; (ii) biodegradação de contaminantes; (iii) integridade da fundação e das paredes das edificações; (iv) alteração do nível freático e taxas de infiltração e (v) pressurização do edifício (sub-pressurização atrai gás do solo para dentro da edificação).

A identificação da concentração desses compostos para avaliar a via de exposição direta por inalação pode ser feita por amostragem ativa ou passiva e ambas fornecem uma medição direta dos compostos químicos presente no vapor do solo. Entretanto, a

amostragem passiva acaba por ser menos dispendiosa no cômputo global.

Na amostragem passiva, uma vez o composto volatilizado, a migração para o amostrador é função da difusividade do produto químico no ar do solo, do gradiente de concentração e das forças convectivas e advectivas. O amostrador é um recipiente quimicamente inerte projetado para proteger a integridade da amostra, que contém um material adsorvente e hidrofóbico. Após instalados, os amostradores permanecerão no local entre 10 e 15 dias, (Fig. 2), e serão posteriormente enviados para análise química em laboratório.

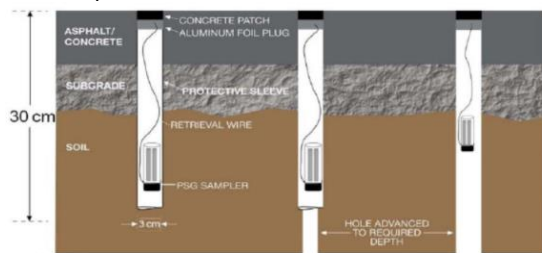


Fig. 2. Representação dos amostradores passivos

Essa abordagem econômica de avaliação da presença de vapor no solo relata dados em massa, e é amplamente utilizada para direcionar as investigações subsequentes como recolha de amostra de solo, instalação de piezômetros e recolha de água subterrânea em locais contaminados.

O estudo de caso relata uma investigação realizada numa área fabril de 9ha desativada há 3 décadas e sem indícios das atividades desenvolvidas. Deste modo, visando a requalificação da área para zona residencial, o objetivo principal foi identificar as áreas com maior potencial de ocorrência de contaminantes voláteis bem como eliminar áreas que não justificam uma investigação detalhada com recurso a técnicas mais morosas e dispendiosas, usando a quantidade mínima de informação necessária, que permita uma decisão sólida e defensável acerca da ocorrência ou não da intrusão de vapores e da necessidade ou não de mitigação.

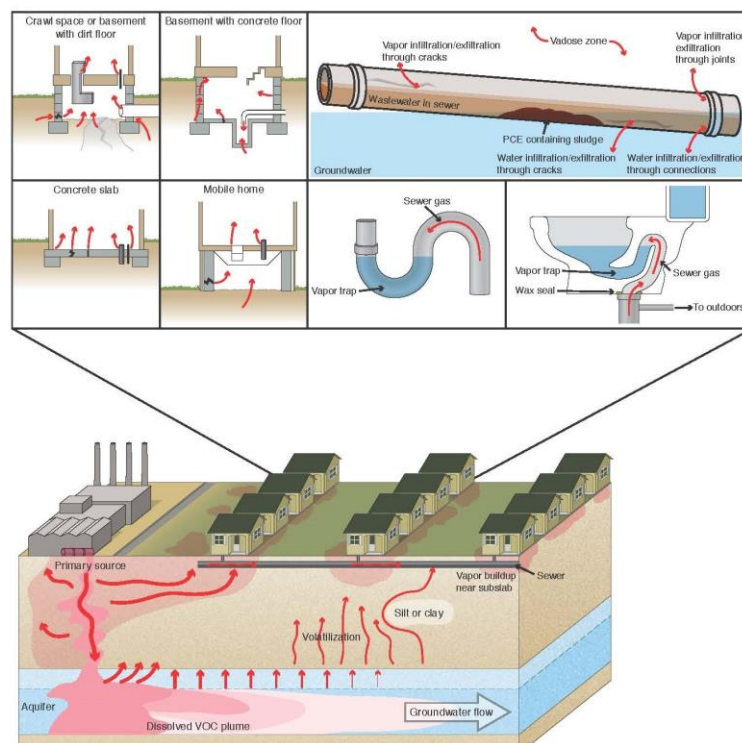


Fig. 1. Potencial de intrusão de vapor em diversas estruturas industriais e residenciais e modelo conceptual de intrusão de vapor do solo e da água subterrânea. Fonte: Adaptado de USEPA (2008)

Referências

USEPA. U.S. Environmental Protection Agency (2008). *Engineering Issue: Indoor Air Vapor Intrusion Mitigation Approaches*. Cincinnati, OH: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development. Disponível: <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100AE72.pdf> [acesso: 30 Janeiro 2023].

SESSÃO CIENTÍFICA 14 (SC_14)
(Geologia de Engenharia)

Conveners: Mário Quinta Ferreira; Filipe Telmo Jeremias; Ana Paula Silva

The Iberian slate industry, the use of geology for the optimization of present and future mines and quarries

A indústria ibérica da ardósia, o uso da geologia para a otimização das minas e pedreiras atuais e futuras

A. Alonso-Jimenez (1), E. Alvarez Areces (1), M. Regueiro y González-Barros (2), M. Arlandi-Rodriguez (3) and Daniel Leon Gonzalez (4)

- (1) Instituto Geológico y Minero de España CN IGME-CSIC, Madrid, Spain antonio.alonso@csic.es
- (2) Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) Madrid, Spain
- (3) Tuneles y Geomecanica SL Madrid, Spain
- (4) Grupo CAFERSA S.L. Barco de Valdeorras, Spain

Sumário: Espanha e Portugal são dois países importantes na indústria global de ardósia, com uma longa história de exploração de ardósia e uma produção significativa de produtos de ardósia. A indústria de ardósia nesses países é caracterizada por diferentes tipos de exploração, incluindo pedreiras subterrâneas e a céu aberto. Todos os anos, a produção de ardósia em Espanha e Portugal atinge quantidades significativas, contribuindo para a economia local e proporcionando oportunidades de emprego à população. O impacto ambiental da exploração da ardósia é uma grande preocupação para a indústria, e esforços estão sendo feitos para promover práticas sustentáveis e reduzir o impacto negativo no meio ambiente. A utilização destes recursos ajustando-se às novas normas ambientais obrigou geólogos e engenheiros de minas a aproveitar a geologia encontrada nas zonas produtivas de Espanha e Portugal.

Palavras-chave: Ardósia, mineração a céu aberto, mineração subterrânea, pedreiras, economia da indústria da construção

Keywords: Slate, open-pit mining, underground mining, quarrying, construction industry economy

Spain and Portugal are well known for their abundant natural resources and rich cultural heritage, with slate being one of the most important minerals found in these countries. Over the years, the exploitation of slate has been a crucial part of their economy and has played a vital role in the development of their infrastructure and building industries. In this article, we will explore the different types of slate exploitation in Spain and Portugal, the annual production quantities, and the impact it has on their economy (Ponce de León 1995).

Slate is a type of metamorphic rock that is commonly found in areas with high tectonic activity Fig.1 and can be used for various purposes such as roofing, flooring, paving, and building construction. The different types of slate exploitation in Spain and Portugal include open-pit mining, underground mining, and quarrying.

Open-pit mining is the most common type of slate exploitation in both countries, where large open pits are created to extract the slate. This method is used when the slate deposits are located close to the surface and the mineral is easily accessible. In Portugal, the production of slate through open-pit mining is estimated to be around 50,000 tons per

year.



Fig. 1. The largest underground mine in the world is A Fraguíña, in the municipality of Carballeda de Valdeorras, in Ourense, owned by the company Cafersa. Source EFE.

Underground mining Fig.1 is another method used to extract slate in these countries. This method is used when the slate deposits are located deeper underground and are more difficult to access. In this method, tunnels are created to reach the deposit, and the slate is extracted through drilling and blasting. In Spain, the production of slate through underground mining is estimated to be around 20,000 tons per year. (Marchán Sanz et al., 2017) Quarrying is a method used to extract slate from large rock formations. This method involves the use of heavy machinery to extract the slate, which is then

cut and processed for various uses. In Portugal, the production of slate through quarrying is estimated to be around 30,000 tons per year (Cárdenas et al 2019). The exploitation of slate in Spain and Portugal has a significant impact on their economy, creating jobs and generating income for the local communities (Tato, 2015). It is also a crucial source of raw materials for the building and construction industry,

with a growing demand for slate products in both countries and abroad.

In conclusion, the exploitation of slate in Spain and Portugal is an important industry that has played a vital role in their economic development and continues to grow and evolve with changing demands (IGME 1991, 1992, 2002).

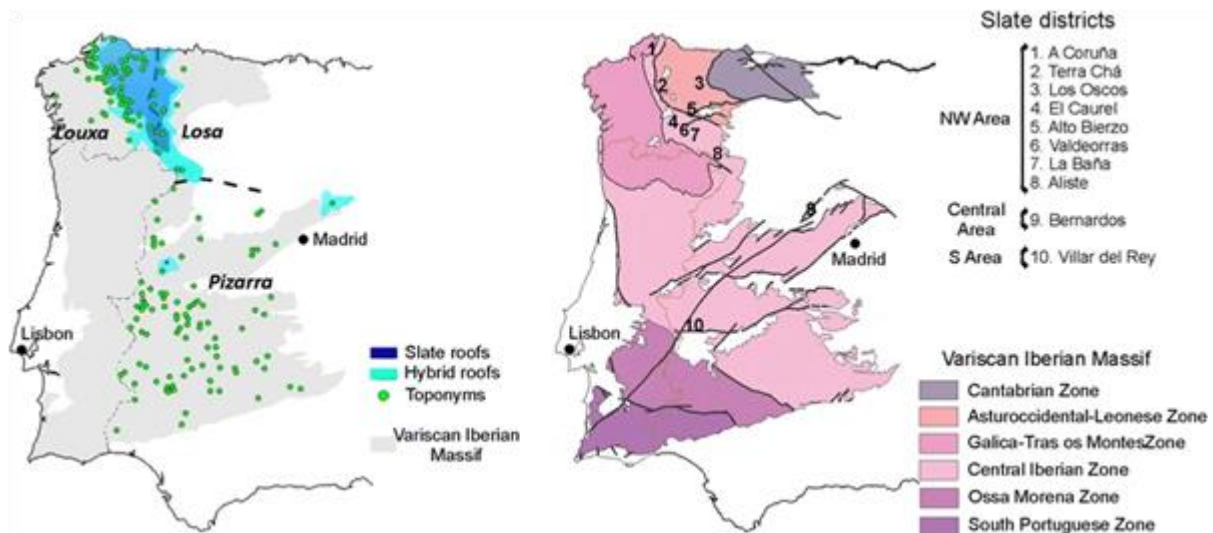


Fig. 2. Left: Distribution of the toponyms related to slate, together with the distribution of traditional covers done only with roofing slate or mixed with other materials (hybrid cover). Modified from Iglesias Ponce de León (1995). Right: Traditional slate districts in Spain, in the frame of the Variscan Iberian Massif. Modified from Mapa Geológico de España, IGME 2015

References

- Cárdenas, V., Ponce de León, M., Rodríguez, X.A. et al. (2019). Roofing Slate Industry in Spain: History, Geology, and Geoheritage. *Geoheritage* 11, 19–34. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0263-y>
- IGME (1991). IGME, Pizarras de España ; Editor, Instituto Tecnológico Geominero de España ; Publisher, IGME, 1991 ; ISBN, 8478400990, 9788478400997
- IGME (1992). Proyecto de Estimación del potencial de los recursos de granito, mármoles y pizarras. Pizarras.
- IGME (2002). Mapa Geológico Sinclinal de Truchas, inédito.
- IGME (2015). Rodríguez-Fernández, L.R. (editor) (2015): Mapa Geológico de España y Portugal a escala 1:1.000.000. IGME- LNEG .
- Marchán Sanz, C., Regueiro González-Barros, M. M., & Delgado Arenas, P. (2017). La piedra natural en España: evolución y perspectivas.
- Ponce de León, M. I. (1995). L'ardoise en Espagne: Histoire et économie. Université de Rennes 2, Rennes
- Tato, E. L. (2015). La industria de la pizarra española en perspectiva histórica. *Investigaciones de Historia Económica-Economic History Research*, 11(1), 52-61.

Análise da estabilidade de um talude da pedreira Moleanos Nº 3

Stability analysis of a slope in the quarry Moleanos Nº 3

J. Caetano (1), J. Henriques (2), M. Oliveira (2), M. Quinta Ferreira (1,3), P. Alves (2), R. Faim (2), J. Ribeiro (1,4) e J. Duarte (3,5)

- (1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, jokaetas@gmail.com
- (2) Instituto Pedro Nunes, IPNlabgeo, Coimbra, Portugal.
- (3) Centro de Geociências, Universidade de Coimbra.
- (4) Instituto Dom Luiz.
- (5) IQGeo – Serviços, Lda.

Summary: *This work includes the geological-geotechnical characterization of the northwest slope of quarry named Moleanos Nº 3, located in Moleanos, Alcobaça, Leiria, through field data acquisition and application of geomechanical classifications of rock masses: Rock Mass Rating (RMR) and Slope Mass Rating (SMR). The results reveal that, in the studied slope, the rock mass is classified as class III for both classifications. Considering the results, it is suggested to implement removal of loose or potentially unstable blocks, the slope sanitization, filling of cavities with shot concrete combined with a mesh in all extent of the slope and a 2 m security perimeter around karsts domains to install infrastructures.*

Key words: *Slope, discontinuities, geomechanical characterization, RMR, SMR.*

Palavras-chave: talude, descontinuidades, caracterização geomecânica, RMR, SMR.

Procedeu-se à caracterização geológico-geotécnica do talude noroeste da pedreira Moleanos Nº 3, localizada em Moleanos, Alcobaça, no distrito de Leiria (Fig. 1).

O estudo teve como objetivo a caracterização do talude e a identificação de possíveis zonas ou situações de instabilidade.



Fig. 1. Localização do talude analisado (—) em imagem de satélite (fonte: Google Earth).

De acordo com a Carta Geológica 26-B Alcobaça, na escala 1:50 000 (Zbyszewski et al., 1961) e a respetiva notícia explicativa (Camarate França & Zbyszewski, 1963), a geologia do local integra as “Formações detríticas e de terra rossa da Serra dos Candeeiros” que incluem depósitos constituídos por fragmentos de calcário, predominantemente angulosos, misturados com terra rossa, e que se acumulam para

a base da Serra dos Candeeiros, dando origem a várias manchas mais ou menos extensas entre Ataija de Cima e Molianos. A unidade referida cobre o substrato rochoso da pedreira Moleanos Nº 3 é constituído pelas formações do Batoniano (J^2_b), que incluem calcários recifais e da retaguarda do recife, em parte dolomitizados.

O talude é constituído por rocha calcária de cor bege (J^2_b) apresentando fraturas com orientações distintas, com inclinação sub-vertical. O talude é bastante plano na crista (como se pode observar na Fig. 2). Em toda a extensão do talude foi possível identificar várias zonas potencialmente problemáticas em termos de estabilidade. A orientação da face de talude em conjugação com as orientações de algumas descontinuidades, geram zonas com potencial de instabilidade.

O efeito da dissolução dos calcários é muito evidente segundo as descontinuidades, com o desenvolvimento de algares a partir das infiltrações superficiais, assinalados a verde na Fig. 2. A erosão da terra rossa de preenchimento das zonas de dissolução, tende a originar abatimentos muito próximos das infraestruturas existentes de apoio à atividade extrativa.

O diaclasamento e a estratificação condicionam de modos diferentes a estabilidade. A estratificação sub-horizontal (marcada a azul na Fig. 2), com pendor para oeste, e com direção sensivelmente

perpendicular à face de escavação da pedra, não constitui um fator de instabilidade. As descontinuidades verticais, aproximadamente perpendiculares à face do talude, não constituem fator de instabilidade. As descontinuidades verticais paralelas ao talude condicionaram a orientação da exploração, mas também não causam problemas de instabilidade.

A face do talude tem uma direção N75°W e inclinação vertical, e o maciço apresenta, no geral, um grau de alteração classificado como W3 (ISRM, 1981).

De acordo com a classificação geomecânica RMR (Bieniawski, 1989), o talude em estudo pertence à classe III, correspondente a rochas de qualidade razoável. Os maciços desta classe caracterizam-se por apresentarem valores de coesão entre 0 – 2 MPa e de ângulo de atrito de 25° a 30°.

Considerando a classificação mecânica de taludes SMR (Romana, 1997), obtém-se uma estabilidade da classe III, considerada parcialmente estável.

Verifica-se que existe o risco de queda de blocos *in situ* das zonas carsificadas do talude, pelo que as soluções de estabilização para proteção de possíveis deslizamentos poderão ser: sanear, limpar, preencher com blocos de rocha e enrocamento argamassado as zonas de dissolução abertas, nomeadamente os algares, e aplicar uma rede de proteção, de malha hexagonal e tripla torção produzida em aço, na frente do talude. Também deve ser estabelecido uma faixa de segurança de 2 m em volta dos algares no topo do talude. Os blocos cortados, o depósito de água e os restantes equipamentos localizados no topo do talude, e que estão nas proximidades dos algares, devem ser removidos para uma zona da pedra fora da influência daquelas estruturas.



Fig. 2. Talude em estudo com sinalização de algares a verde e estratificação a azul.

Agradecimentos: Trabalho financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES, por fundos nacionais, através dos projetos UIDB/50019/2020 e UIDB/00073/2020.

Referências

- Bieniawski, Z.T. (1989) Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Camarate França, J. & Zbyszewski, G. (1963). Carta Geológica de Portugal, na escala 1/50 000. Notícia Explicativa da Folha 26-B, Alcobaça.
- ISMR (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested Methods. Ed E.T. Brown. Pergamon Press.
- Romana, M. (1997). El papel de las clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes. IV Simp. Nacional Sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. III, pp. 955-1011.
- Zbyszewski, G. *et al.* (1961). Carta Geológica de Portugal. Folha 26-B, Alcobaça. Escala 1:50 000. Serviço Geológico de Portugal, Lisboa.

O uso dos materiais pétreos na Fortaleza de S. João Baptista (Monte Brasil), Angra do Heroísmo, Açores

The use of stone materials in the Fortress of S. João Baptista (Monte Brasil), Angra do Heroísmo, Azores

L. Catarino (1), M. I. Cunha (2) e J. A. R. Mendes da Silva (3)

- (1) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal, lidiagil@dct.uc.pt
- (2) Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra, Portugal
- (3) Universidade de Coimbra, CERIS, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra, Portugal

Summary: *Monte Brasil is the most imposing volcanic apparatus on the Azorean island coast, in the middle of Atlantic Ocean. It is located on the southern coast of Terceira island, overlooking the city of Angra do Heroísmo. The Fortress of S. João Baptista was built using hyaloclastite tuffs, most of them extracted near the walls to minimize the transport to the place of application. The cavities resulted from the quarrying were used as wolf pits to protect the walls. These stone types exhibit several properties that contribute for the excellent performance in this application, particularly the capability of absorb the chock without breakdown. However, the rock used for the construction of the church, was generically trachyte. Since 1983, Angra do Heroísmo is a UNESCO World Heritage site, whereby all the efforts for conservation and maintenance needs to be carried out carefully to preserve historical buildings.*

Key words: *Fortress of S. João Baptista, hyaloclastitic tuff, trachyt*

Palavras-chave: Fortaleza São João Baptista, tufo hialoclastítico, traquito

A Fortaleza de S. João Baptista, conhecida localmente como Castelo, localiza-se no Monte Brasil, península localizada na costa sul da ilha Terceira, a oeste da baía e porto da cidade de Angra do Heroísmo (Açores, Portugal).

O Monte Brasil é constituído por um grande aparelho vulcânico do tipo cone, que se encontra instalado sobre uma falha considerada ativa e é geologicamente uma formação muito recente. Dominam os tufo hialoclastíticos resultantes de dois episódios eruptivos principais, com início há menos de 23 000 anos e separados por cerca de 5000 anos de acalmia. Em ambas as fases, os magmas, de natureza basáltica com elevadas temperaturas, contactaram com a água do mar, originando manifestações vulcânicas explosivas e gerando materiais que se acumularam em sequências verticais e que popularmente são designados simplesmente como tufo (Rodrigues, 2002).

Devido à sua localização estratégica e às diversas frotas das potências marítimas que nos finais do século XVI navegavam o oceano Atlântico, tornou-se imperioso reforçar a defesa do porto de Angra (Meneses, 1987).

Assim, teve início o processo de fortificar a península do Monte Brasil durante o reinado de D. Sebastião com a construção da Fortaleza de São Sebastião

(1572), melhorada e modificada de modo a ganhar importância defensiva durante a União Ibérica (que nos Açores dominou de 1583 a 1642) tendo durante o reinado de Filipe I (de Portugal) adquirido a designação de Forte de San Filipe (Gil Crespo, 2017). O conjunto é composto por linhas de muralha com baluartes e meios baluartes numa extensão de mais de 4 km (natural e edificada) com cerca de 3 km² de área, numa estrutura de carácter militar que manteve como principal função a defesa da baía de Angra. O processo de construção foi longo e dispendioso. Após a restauração da independência portuguesa passou a designar-se Fortaleza de São João Baptista tendo sido concluídas em fase posterior outras construções complementares que se estenderam no tempo até ao século XX, mantendo até hoje uma função militar.

As soluções adotadas na construção da muralha aproveitam as circunstâncias do terreno e a qualidade dos materiais disponíveis, designadamente a rocha. As argamassas usadas para fazer a ligação dos blocos de rocha são as tradicionais, onde avultam a cal e a areia vulcânica, com efeito agregante acrescido.

Sendo a península constituída essencialmente por tufo vulcânicos, foi esse o material explorado em blocos na proximidade da muralha, no lado norte, com uma localização ardilosa que permitia a

utilização posterior das cavidades resultantes em covas de lobo, que se integravam na estratégia defensiva do local e que minimizavam a distância entre a extração e a colocação em obra.

A volumetria de blocos que constitui a muralha obrigou necessariamente a recorrer a outros pontos de exploração sendo que ainda hoje é visível uma pedreira nas proximidades.

O tufo apresenta características mecânicas vantajosas para a colocação num sistema defensivo, pois é resistente mas moldável ao impacto das balas, o que evita ricochetes e reduz a possibilidade de desmantelamento por tiro à distância.

No Praça de Armas da fortaleza é de singular importância a Igreja de São João Baptista que tem bem patente as diferenças entre os materiais construtivos utilizados ao longo das várias épocas.

A igreja apresenta globalmente os cunhais e os elementos decorativos em pedra à vista, sendo os paramentos executados em alvenaria de pedra com reboco.

Uma observação atenta aos elementos construtivos permite distinguir a presença de traquito na generalidade da pedra à vista e alguns elementos decorativos em basalto. Embora o tufo hialoclastítico esteja presente em alguns locais, verifica-se que está restrito à fachada sul e é integrante apenas de elementos construtivos que fazem parte da fase construtiva mais antiga e possivelmente ainda de matriz espanhola. Em situações pontuais e por serem

substituições mais recentes existem ainda argamassas de reparação e de revestimento.

Desde 1983, Angra do Heroísmo é Património Mundial da UNESCO, pelo que a conservação e manutenção dos edifícios deve ser feita com cuidado e respeito acrescido, de modo a preservar a identidade das construções históricas.



Fig. 1. Mapeamento dos diferentes tipos de pedra observáveis na fachada sul da Igreja de S. João Baptista (1 - traquito; 2 - tufo; 3 - basalto; 4 - argamassa de reparação; 5 - argamassa de revestimento) (Cunha, 2018).

Agradecimentos: Os autores agradecem a toda a equipa que participou nos vários trabalhos de campo realizados entre 2017 e 2019 no âmbito do projeto de Apoio Técnico-científico do Projeto de Reabilitação da Igreja de São João Baptista em Angra do Heroísmo, Ilha Terceira, Açores.

Referências

- Cunha, M.I. (2018) Elementos Pétreos da Igreja de São João Baptista, Angra do Heroísmo, Açores. Contributo para uma intervenção de reabilitação. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- Gil Crespo, I.J.G. (2017). El sistema fortificado de la isla Terceira (Azores, Portugal): notas sobre poliorcética y construcción. Actas del Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción, Volumen II. Donostia - San Sebastián. Espanha.
- Meneses, A.F. (1987). Os Açores e o Domínio Filipino (1580-1590). Ed. Instituto Histórico da Ilha Terceira. Angra do Heroísmo, 398 pp.
- Rodrigues, F.C. (2002). Hidrogeologia da Ilha Terceira (Açores Portugal). Dissertação apresentada para obtenção do grau de Doutor no ramo na especialidade de Engenharia do Ambiente. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo. Açores, Portugal.

Uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (RPAS/Drones) para identificação do padrão de fraturação em pedreiras

Use of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS/Drone) to identify the fracturing pattern in quarries

W. Dantas (1), J. M. Lourenço (2) e L. Sousa (2)

- (1) University of Trás-os-Montes e Alto Douro; walter.geologia@gmail.com
 (2) Department of Geology and Pole of CGeo—Geosciences Center, University of Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000-801 Vila Real, Portugal

Summary: The work developed has as main objective: the identification of the fracturing pattern in quarries located in the Núcleo de Pedreiras das Pedras Finas, municipality of Ponte de Lima, Viana do Castelo, using Remotely Piloted Aircraft Systems. The methodologies used to achieve the proposed objective came from research in the academic literature with the aforementioned theme. Those are based on traditional methods of structural surveys, allied to automatic methods through resources of aerophotogrammetric surveys.

Key words: RPAS, Drones; Quarries; Fracture; Modelling.

Palavras-chave: RPAS, Drones; Pedreiras; Fracturação; Modelação.

No campo das geociências, a aplicabilidade dos *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS) como ferramenta na identificação do padrão de fraturação, já foi abordada em inúmeros estudos (Coelho, 2019; Menegoni *et al.*, 2020; Kong *et al.*, 2021; Riquelme *et al.*, 2022, Bodgnanowitch *et al.* 2022).

A metodologia adotada neste trabalho baseou-se na utilização conjunta de procedimentos convencionais de análise estrutural local e de técnicas modernas de deteção remota, com ênfase na utilização de RPAS. Foi utilizado o método proposto por Duarte *et al.* (2015), que determina a atitude das descontinuidades através da manipulação das nuvens de pontos obtidas pela modelação fotogramétrica, baseada na técnica de *Structure for Motion* [SfM].

O processamento das imagens realizou-se no *Agisoft Metashape Professional*®, versão 1.8.3, sendo geradas as nuvens densas de pontos, modelos tridimensionais, modelos digitais de elevação (MDE) e ortomosaicos. Com base nas nuvens densas de pontos foi utilizado o *software CloudCompare*® para a identificação dos planos de fraturação e respetivas orientações.

A área de estudo localiza-se na região norte de Portugal, no Núcleo de Pedreiras das Pedras Finas (NPPF), o qual está inserido no município de Ponte de Lima, distrito de Viana do Castelo (Fig. 1).

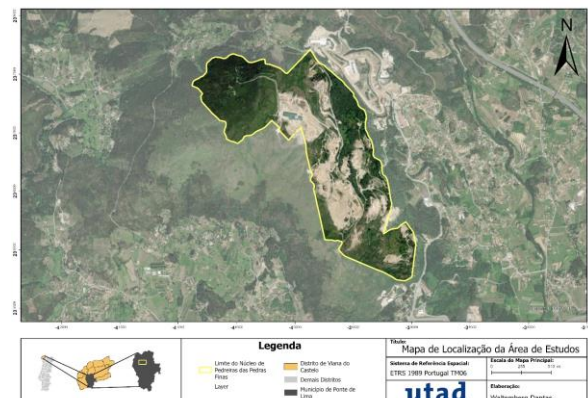


Fig. 1. Mapa de localização da área de estudo.

Escolheram-se 6 perfis em zonas diferentes do NPPF para a determinação da direção e inclinação das fraturas (*dip direction* e *dip*). Durante a campanha de campo foram medidos *in situ*, 301 planos de fraturação. Em gabinete 160 planos foram identificados no *CloudCompare*®. Para analisar os dados recorreu-se ao *Stereonet*®, de modo a serem produzidos os diagramas de densidade (Fig.2).

Os dados comparativos entre as orientações dos planos medidos *in situ* e as orientações dos planos adquiridos em *CloudCompare*® mostraram-se similares em quatro dos perfis (variações entre 4 e 9 graus), enquanto que em dois dos perfis os resultados apresentaram diferenças (variações entre 25 e 30 graus) sem, contudo, invalidar a metodologia aplicada.

As principais famílias identificadas nos respetivos perfis condizem com os valores apontados no Relatório de Fundamentação para o Plano de Intervenção no Espaço Rústico do Núcleo de Pedreiras das Pedras Finas (PIER-NPFF). As famílias com as direções NE-SW e NW-SE subverticais constituem as principais direções de fraturação do maciço, coincidindo frequentemente com a orientação das frentes de exploração.

Em conclusão, a utilização de RPAS nos levantamentos aerofotogramétricos é um contributo

indispensável para a caracterização geológico-estrutural de áreas com potencial para a indústria extrativa.

Como considerações para trabalhos futuros, sugere-se a realização de estudos mais exaustivos com os métodos de extração automáticos disponibilizados (*plugins RANSAC e FACET*) no *CloudCompare®*, de modo a incorporar estas abordagens nos trabalhos subsequentes.

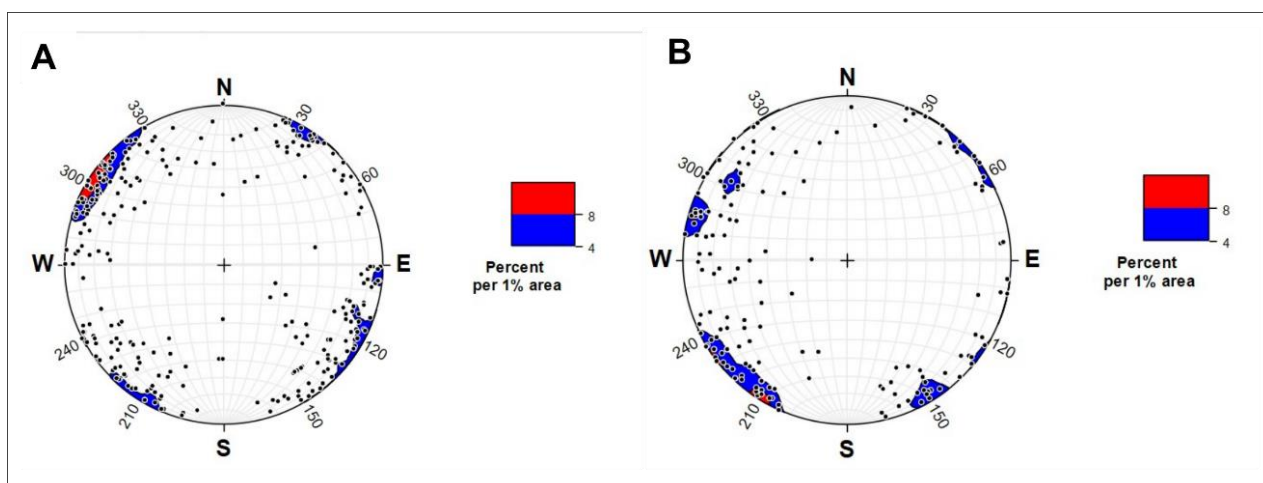


Fig. 2 Diagramas de densidades com a totalidade dos dados obtidos em campo (A) e por meio informático (B).

Agradecimentos: Aos meus professores orientadores, Doutor José Manuel Martinho Lourenço e ao Doutor Luís Manuel de Oliveira Sousa por todos os ensinamentos, paciência e disponibilidade em sanar minhas dúvidas, assim como em realizar as atividades de campo. Trabalho realizado no âmbito dos projetos UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020 do Centro Geociências (CGEO).

Referências

- Bogdanowitsch, M. (2022). Building stone quarries: resource evaluation by block modelling and unmanned aerial photogrammetric surveys. *Environmental Earth Sciences*, 81:16.
- Coelho, N.J.S. (2019). Caracterização Geotécnica e Estrutural de um Maciço de Rochas Carbonatadas com Aplicação da Técnica de Fotogrametria. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Dantas, W.M. (2023). Uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (RPAS/Drones) para identificação do padrão de fraturação em Pedreiras. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica em Ciências Agronómicas e Florestais. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
- Duarte, J., Gonçalves, G., Duarte, D., Figueiredo, F., & Mira, M. (2015). Comparison of 3D point clouds obtained by photogrammetric UAVs and TLS to determine the attitude of dolerite outcrops discontinuities. In *EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 17)*.
- Kong, D., Saroglou, C., Wu, F., Peng, S & Li, B. (2021). Development and application of UAV-SfM photogrammetry for quantitative characterization of rock mass discontinuities, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 141.
- Menegoni, N., Giordan D., Perotti, C. & Tannant, D. (2019). Detection and geometric characterization of rock mass discontinuities using a 3D high-resolution digital outcrop model generated from RPAS imagery – Ormea rock slope, Italy. *Engineering Geology*, 252, 145–163.

The role of petrographic studies on the durability of buildings

O papel da petrografia na durabilidade das construções

I. Fernandes (1), M. A. Ribeiro (2) e M. Quinta Ferreira (3)

(1) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências e IDL - Instituto Dom Luiz, mifernandes@fc.ul.pt

(2) Universidade do Porto, Faculdade de Ciências e ICT - Instituto das Ciências da Terra

(3) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra

Sumário: *As estruturas de betão podem apresentar sinais de deterioração apenas alguns anos após a construção ou ao fim de algumas décadas. Fissuras, deslocamentos de elementos estruturais, pop-outs e descoloração são as manifestações mais comuns da ocorrência de reações químicas internas. A reação álcalis-silica é um mecanismo de deterioração devido à reação de alguns tipos de agregados com os álcalis presentes nos fluidos intersticiais do betão, na sua maioria provenientes do cimento. A caracterização dos agregados é feita por métodos visuais a diferentes escalas com o objetivo de identificar a presença de formas reativas de sílica. No presente trabalho são apresentadas as características dos agregados reativos mais comuns e discutidas as menos consensuais, com o objetivo de contribuir para uma melhor seleção de agregados para futuras construções.*

Palavras-chave: *agregados, petrografia, sílica reativa, diagnóstico, produtos de reação*

Key words: aggregates, petrography, reactive silica, diagnosis, reaction products

According with the most well-known international recommendations (e.g. Nixon and Sims, 2016; Fernandes et al., 2016) the characterization of aggregates for concrete should start by the petrographic analysis both by binocular and optical microscope. This is a time-consuming task that implies particles counting by hand-splitting of aggregate types and/or the point-counting of minerals that compose the rock or sand particles.

The petrographic assessment of reactive silica is not covered by any European Standard due to the regional variability of rocks and their behavior as building materials. There are a number of national standards regarding the petrographic examination of new aggregates but the identification of the features that are related to the reactivity is not always consensual between regions and countries. In particular, slow reactive rocks with microcrystalline and/or strained quartz are the ones that raise the liveliest debate within the scientific community. The Portuguese building industry is covered by recommendations applied to the local aggregates (LNEC E415, LNEC E491) aiming at covering the particular properties of the most commonly used types of rocks used in the country: limestone and granite.

Some of the standards do not define thresholds for the maximum content of reactive minerals and also the limits used to classify the aggregates according to the content of potentially reactive forms of silica are variable (e.g. CUR 89 2008; AFNOR P18-542 2015).

Components such as opal, chalcedony and tridymite are worldwide recognised as potentially reactive. These are quite common in some of the limestone and sandstone from Western Europe and reactive silica can be found in the limestone formerly quarried in Lisbon (Fig. 1). Fortunately, this is not a feature found in limestone from central Portugal and these aggregates are usually applied with no sign of deterioration of the concrete decades after the construction. Other types of rocks have caused extensive deterioration in many regions of the world, namely schist, gneiss, cataclasite, rhyolite, sandstone, greywacke and andesite (Lorenzi et al. 2006; Katayama, 1997), rocks that contain micro to cryptocrystalline silica, but also strain quartz, exhibiting sub-graining.

The main discussion is about the degree of deformation that should be the threshold for the classification of an aggregate as potentially reactive. This fact has been worked just in some regions, namely Portugal, Spain, Brazil and Australia, places where granitic rocks originated extensive cracking of concrete structures. Alaejos and Lanza (2011) proposed the quantification of subgrained quartz to overcome the limitations of petrography towards the correct identification of granitic rocks. In Fig. 2 an example of Portuguese strained granite is presented, as well as a fine-grained rock, both resulting in the occurrence of alkali-silica reactions. The work developed till now shows that there is still a long way to go for the definition of national and international standards regarding the so-called slow reactive

aggregates. It is, therefore, wise to follow the Portuguese recommendation and perform laboratory tests in addition to petrography to ensure the production of durable concrete.

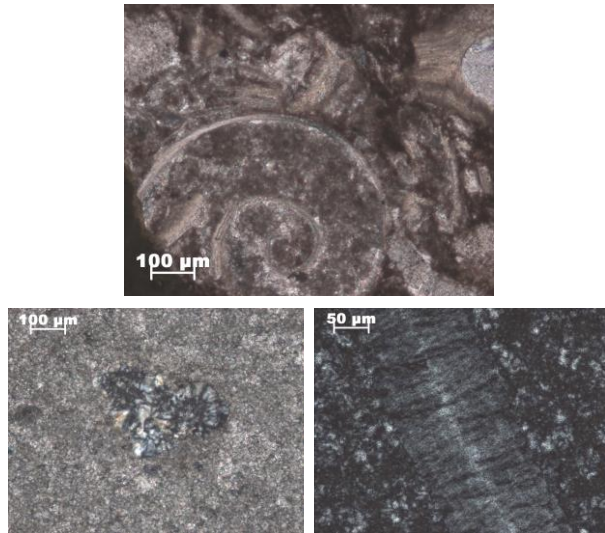


Fig. 1. Siliceous limestone: from Belgium (above) and formerly quarried in Lisbon, containing reactive forms of silica (below).

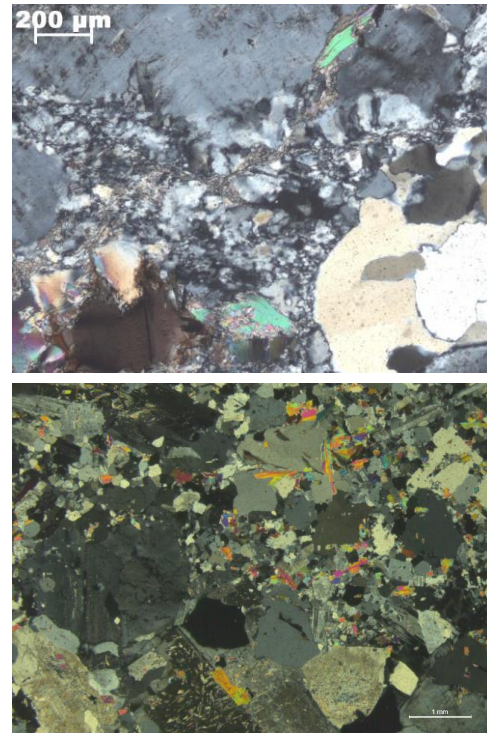


Fig. 2. Granitic rocks: deformed granite and fine-grained granite, both of which produce alkali-silica reactions in concrete.

Acknowledgements: This work was funded by the Portuguese Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) I.P./MCTES through national funds (PIDDAC) – UIDB/50019/2020 and UIDB/00073/2020.

References

- Alaejos, P, Lanza, V (2011) Influence of equivalent reactive quartz content on expansion due to alkali silica reaction. *Cement and Concrete Research* 41:99–104.
- CUR Recommendation 89 (2008) Measures to prevent concrete damage by the alkali-silica reaction. (In Dutch.) 2nd revised edition. Centre for Civil Engineering Research and Codes, Gouda, the Netherlands.
- Fernandes I, Ribeiro MA, Broekmans MATM, Sims I (2016) *Petrographic Atlas: Characterisation of aggregates regarding potential reactivity to alkalis*. RILEM TC 219-ACS Recommended Guidance AAR-1.2 for Use with the RILEM AAR-1.1 Petrographic Examination Method. Springer, Dordrecht, the Netherlands.
- Nixon PJ, Sims I (2016) RILEM Recommendations for the prevention of damage by alkali-aggregate reactions in new concrete structures. State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 219-ACS. RILEM State-of-the-Art Reports 17, pp. 176. Sweeting, M. (1972). *Marine Geology*. Elsevier.
- AFNOR P18-542 (2015) *Granulats: Critères de qualification des granulats naturels pour béton hydraulique vis-à-vis de l'alcali-réaction*. Association Française de Normalisation, Paris, France.
- Katayama, T (1997) Petrography of alkali-aggregate reactions in concrete – reactive minerals and reaction products. In: Nishibayashi, S, and Kawamura, M (editors): *East Asia Alkali-Aggregate Reaction Seminar*, Tottori, A45-A59.
- Lorenzi, G, Jensen, J, Wigum, B, Sibbick, R, Haugen, M, Guédon, S, Åkesson, U (2006) *Petrographic atlas of the potentially alkali-reactive rocks in Europe*. FP5—Partner-project- GRD1-CT-2001-40103. Geological Survey of Belgium Professional Paper 2006/1-Nº302.

Caracterização geológica do maciço rochoso de fundação da barragem de Foz Tua

Geological characterization of a rock mass for the construction of a large dam

I. Fernandes (1), M.A. Ribeiro (2) e N. Plasencia (3)

(1) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências e IDL - Instituto Dom Luiz, mifernandes@fc.ul.pt

(2) Universidade do Porto, Faculdade de Ciências e ICT - Instituto das Ciências da Terra

(3) EDP Gestão da Produção de Energia S.A., Porto

Summary: A rock mass composed of granitic rock was study for a large dam construction, in the North of Portugal. In the area large size blocks outcrop in very steep slopes. The joint sets are subvertical and they are intersected by subhorizontal undulated joints pending to the river. The geological study was conditioned by the limited access conditions and the site investigation included the mapping of survey trenches and galleries along the slopes. In the present paper emphasis is given to the importance of an accurate geological-geotechnical mapping for the selection of location of the site investigation methods and in situ tests performed at the end of the rock mass assessment. The results of the methods used are presented.

Key words: rock mass, joint system, engineering geology, geological survey trenches and galleries

Palavras-chave: maciço rochoso, sistema de diaclases, geologia de engenharia, galerias e trincheiras de reconhecimento

A cartografia geológica a uma escala adequada é a base de qualquer estudo geológico-geotécnico para projetos de engenharia. Atualmente, a utilização de imagens de satélite e de ortofotomapas é de grande ajuda para a definição da metodologia de investigação do local ou locais a estudar em pormenor, com recurso a métodos de prospeção.

Resume-se neste trabalho os trabalhos de caracterização geológica realizados para a construção da barragem de Foz Tua, junto a Alijó, no norte de Portugal, concluída na última década. Embora a avaliação da viabilidade da barragem tenha sido realizada na década de 1960, os trabalhos de caracterização geológica de detalhe foram apenas iniciados nos anos 2000 e incluíram a cartografia geológica de superfície e a cartografia geológico-geotécnica das trincheiras e galerias, escavadas em ambas as margens.

O local é caracterizado geomorfologicamente por um vale fortemente encaixado, de vertentes íngremes, nas quais afloram blocos graníticos de grande dimensão. Os trabalhos de campo foram condicionados pelas condições de acesso limitadas que também influenciaram o número e disposição das trincheiras e das galerias. Verifica-se que nesta mancha granítica de dimensões modestas, aflora granito são (W1) a moderadamente alterado (W3). Junto às zonas de falha e corredores de fraturação,

observa-se granito muito alterado (W4) e, localmente, existe rocha decomposta (Fig. 1).

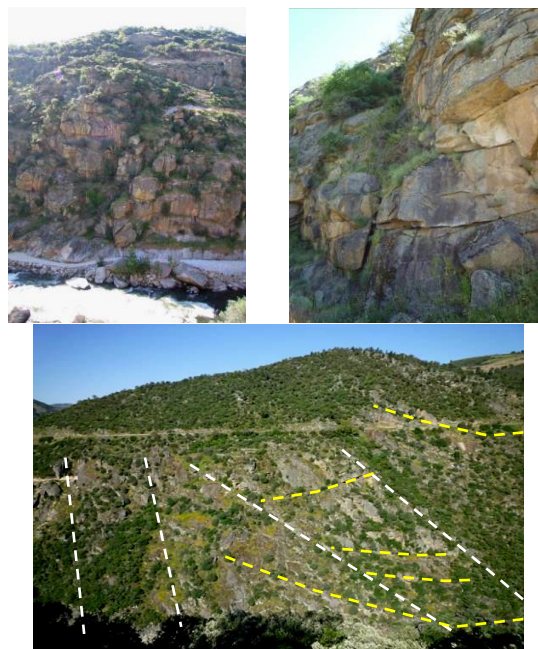


Fig. 1. Blocos de granito de grandes dimensões que afloram no local de implantação da barragem e fotointerpretação dos alinhamentos principais na margem direita.

O estado de alteração é variável em cota e diferente para ambas as margens: o granito mais alterado é predominante nas cotas mais elevadas e até meia-encosta, com forte ferruginização nas paredes das diaclases mais extensas, predominando granito são

nas cotas mais próximas do leito do rio. As margens não apresentam declives simétricos, em especial às cotas mais altas. Foram escavadas três trincheiras em cada margem, embora a níveis bastante diferentes, devido à morfologia difícil do vale, e quatro galerias (Fig. 2). Foi realizada a cartografia de todas as superfícies escavadas destes elementos de prospeção, o que permitiu determinar a atitude das famílias de diaclases e falhas que compartimentam o maciço. Na zona estudada para a barragem a compartimentação do maciço é condicionada sobretudo pelas falhas de orientação NE-SW: uma orientação predominante e paralela ao rio, representada por falhas N30°, muitas delas com cataclase em quartzo, e uma outra orientação representada por fraturas N60°, extensas, com estrias, definindo corredores de fracturação, em geral sem preenchimento quartzoso e sem cataclase. Ambas as orientações são subverticais e estão representadas em ambas as margens.

Nas Tabelas I e II apresentam-se as atitudes e características das principais famílias de diaclases, para as a margem direita e esquerda, respetivamente.



Fig. 2. Imagem da margem direita, com as trincheiras escavadas até meia encosta e entrada de uma galeria de reconhecimento.

Tabela. I. Atitudes e características das famílias de descontinuidades que compartimentam o maciço da margem direita.

	N81°; 83°SE	N171°; 87°W	N39°; 87°NW	N18°; 33°SE
Espaçamento(cm)	6-20	6-20; 20-60	6-20	20-60; >200
Abertura (mm)	0,5-10	0,5-10; <0,5	0,5-10	0,5-10
Extensão (m)	1-3	1-3	1-3	1-3; 3-10
Rugosidade (JRC)	6-8	8-10	8-10	8-10

Tabela. II. Atitudes e características das famílias de descontinuidades que compartimentam o maciço da margem esquerda.

	N59°; 90°	N12°; 88°NW	N130°; 18°SW	N130°; 15°NE
Espaçamento(cm)	6-20; 20-60	6-20; >200	<6	6-20
Abertura (mm)	<0,5	<0,5	1-3	<1
Extensão (m)	1-3	1-3	0,5-10	<0,5
Rugosidade (JRC)	6-8	6-8; 8-10	6-8	6-8

A caracterização geológico-geotécnica das trincheiras e galerias de reconhecimento geológico, mas também a geologia de superfície, permitiu concluir que predominam as diaclases subverticais e existem diaclases subhorizontais mais numerosas na margem

esquerda. Esta análise contribuiu para a definição da blocometria dos blocos que poderiam destacar-se durante a construção, para a avaliação da estabilidade das superfícies escavadas e definição das medidas de contenção a adotar.

Agradecimentos: Os autores agradecem à Movhera – Hidroelétricas do Norte, S.A., concessionária do Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua, e à ENGIE – Hidroelétricas do Douro, Lda., responsável pela O&M do referido Ativo Hidroelétrico, por delegação de competências detentora da concessão, assim como à EDP Gestão da Produção de Energia, responsável pela concretização deste projeto, a autorização para divulgação dos resultados deste estudo.

Investigação Geotécnica da Quinta Ciência Viva do Sal, Armazém de Sal, Pedarium, Banho de Lamas e acessos

Site Investigation of Salt Live Science Farm, Salt Warehouse, Pedarium, Mud Bath and accesses

J. Henriques (1), M. Oliveira (1), M. Quinta Ferreira (1,2), P. Alves (1) e R. Faim (1)

- (1) Instituto Pedro Nunes, IPNlabgeo, Coimbra, Portugal, jpquintela@ipn.pt
(2) Universidade de Coimbra, CGeo, Dep. Ciências da Terra, Coimbra, Portugal

Summary: A Geological and geotechnical study within the scope of the expansion of the Salt Ecomuseum project in Figueira da Foz using geotechnical tests such as the Piezocone Test (CPTu) and the Dynamic Penetrometer Super Heavy (DPSH) was done. The results allowed to define two geotechnical zones: zone 2 constituted by soft clay, and zone 1 mainly constituted by sand. The foundations should reach the lower sand zone, presenting the best properties, that was reached at more than 5 m deep.

Key words: CPTu, DPSH, geological-geotechnical study

Palavras-chave: CPTu, PDSP, estudo geológico-geotécnico

Foi executado um estudo geológico e geotécnico, no âmbito do projeto “Quinta Ciência Viva do Sal, Armazém de Sal, Pedarium, Banho de Lamas e acessos”, situado nos Armazéns de Lavos na Figueira da Foz.

O principal objetivo foi a análise e avaliação das características geológicas e geotécnicas dos terrenos com relevo para a caracterização da zona de implantação do projeto. Essencialmente foram avaliadas as características de resistência e de deformabilidade do terreno de fundação aluvionar no estuário do rio Mondego.

Os trabalhos de campo foram realizados nos dias 12 e 13 de outubro de 2021, nos locais assinalados na planta de localização (Fig. 1) (Google Earth 2021). Os trabalhos constaram no reconhecimento geológico de superfície do local e da zona envolvente, na execução de 2 ensaios de penetração dinâmica super pesada (PDSP1 a PDSP2), 3 ensaios com o Piezocone (CPTu1 a CPTu3).

A realização dos PDSP (EN ISO 2005) permitiu obter um registo contínuo em profundidade da resistência dos solos atravessados. Os ensaios CPTu permitiram medir a força correspondente à resistência de ponta (Q_c), atrito lateral (F_s) e monitorização das porções (U2).



Fig. 1. Planta do local em estudo sobreposta em imagem do Google Earth, com a localização dos trabalhos de prospeção PDSP e CPTu.

De acordo com a Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50 000, Folha 19-C, Figueira da Foz, o terreno da zona em estudo é constituído por aluviões (a) (Rocha 1981). As aluviões são bastante espessas ao longo do rio e são constituídas por areia fina acastanhada e amarelada, tornando-se estas aluviões mais lodosas e acinzentadas com a profundidade.

Com base nos elementos obtidos no estudo geológico e na realização dos trabalhos de prospeção foi possível elaborar um perfil geológico-geotécnico interpretativo (Fig.2). Considera-se que as fundações das estruturas serão realizadas com maior segurança, mas também com custos mais elevados na zona geotécnica 1: Constituída por areia a profundidades variáveis, por exemplo no Perfil AB a partir dos 4,8 m no local do CPTu2, aos 6,2 m no local do CPTu1, aos 5,4 m no local do PDSP1 ou a partir dos 5,8 m e 6,0 m

de profundidade respetivamente nos locais da execução dos ensaios PDSP2 e CPTu3.

Analisando os dados recolhidos no presente estudo, conclui-se que a zona geotécnica mais competente e com maior capacidade de fundação, em toda a área do projeto em estudo, é a unidade correspondente às

Areias, devendo ser esta a preferida para realizar a generalidade das fundações das estruturas de engenharia. Esta apresenta valores de capacidade de carga superiores a 195 kPa, a uma profundidade mínima de 5,4 m no PDSP1 e 5,8 m no PDSP2.

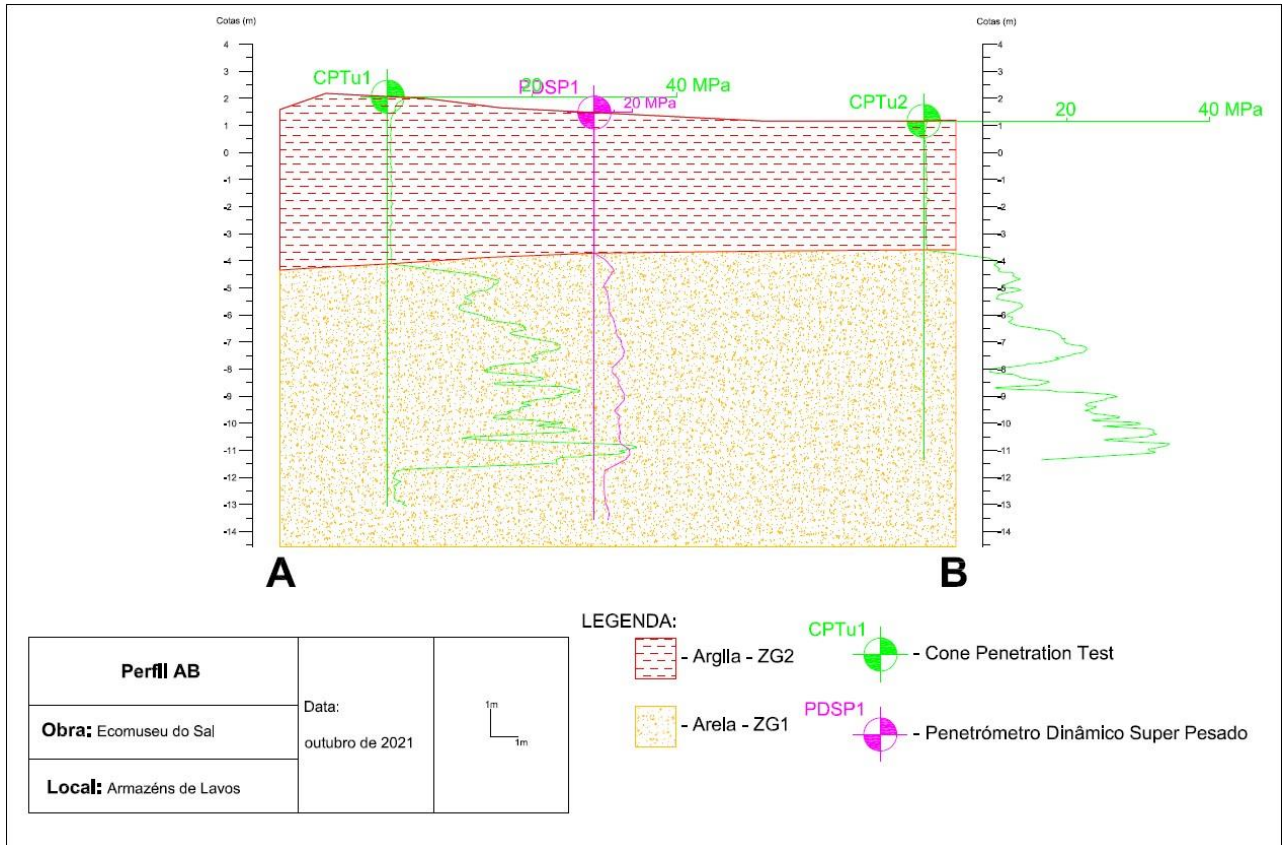


Fig. 2. Perfil AB com os dados dos dois tipos de ensaios realizados.

Agradecimentos: À empresa Tisem – tecnologia, inovação pela autorização para utilização dos dados. Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projeto UIDB/00073/2020.

Referências

- EN ISO 22476-2 (2005). Geotechnical Engineering - Field testing, Part 2 - Dynamic probing.
- Google Earth Pro (2021).
- Rocha, Rogério, et al. (1981). Notícia Explicativa da Folha 19-C, Figueira da Foz. Serviços Geológicos de Portugal, Direção-Geral de Geologia e Minas, Lisboa.
- Serviços Geológicos de Portugal (1976). Carta Geologica de Portugal – Folha 19-C, Leiria. Figueira da Foz. Escala 1:50 000.

Caracterização geotécnica para a construção da Unidade de Saúde em Amor, Leiria

Geotechnical characterization for construction of the Health Unit in Amor, Leiria

M. Oliveira (1), J. Henriques (1), P. Alves (1) e R. Faim (1)

(1) Instituto Pedro Nunes, IPNlabgeo Coimbra, maoliveira@ipn.pt

Summary: *At the request of the Municipality of Leiria, the IPN labgeo – Geotechnical Laboratory of the Instituto Pedro Nunes carried out a geological and geotechnical study within the framework of the construction of the “Health Unit – Project A” in Amor, Leiria. The main objective of the study is to analyze and define the geological and geotechnical characteristics relevant to the execution of the project. Field work consisted of geological reconnaissance of the land surface, the execution of 3 test pits and 3 tests with a Dynamic Penetrometer Super Heavy (DPSH), carried out in October 2020.*

Key words: *Geology, Geotechnical, Engineering*

Palavras-chave: Geologia, Geotecnia, Engenharia.

O terreno em estudo localiza-se a oeste da junta de freguesia de Amor, no concelho de Leiria. A área em estudo insere-se na parte oeste da Carta Geológica de Portugal, Folha 23-C Leiria, escala 1:50 000, onde predominam litologias do Plistocénico indiferenciado. A zona onde se pretende realizar a construção da Unidade de Saúde de Amor é constituída essencialmente por depósitos de terraços e de praias antigas.

Em função do tipo de obra a realizar e dos terrenos presentes, tendo em vista uma adequada caracterização geológico-geotécnica do terreno, foi executado o plano de prospeção geotécnica constituído pela realização de 3 poços de prospeção com recurso a trado (T) e de 3 ensaios com o Penetrómetro Dinâmico Super Pesado (PDSP) (EN ISO 2005), (Fig. 1).

Os materiais intersetados foram essencialmente solos arenosos, de granulometria fina e média, com diferentes tonalidades, variando entre castanho, amarelo, branco amarelado e branco acinzentado, em geral com a presença de seixos de quartzo leitoso, com dimensões compreendidas entre 1 e 3 cm.

Em todos os poços de prospeção foram ainda intersetados materiais de aterro, constituídos essencialmente por solos arenosos, com a presença de restos de construções.

Nos poços de prospeção T2 e T3 foi detetado o nível freático, aos 2,2 m e 2,5 m de profundidade, respetivamente.

Os dados obtidos com base no estudo geológico e na realização dos trabalhos de prospeção permitiram elaborar o perfil geológico-geotécnico interpretativo

onde se representou a distribuição das zonas geotécnicas consideradas (Fig. 2).

No perfil é feita uma estimativa genérica da distribuição das zonas geotécnicas com base nos trabalhos realizados, pelo que o zonamento geotécnico constitui uma síntese e interpretação dos dados recolhidos no estudo, ou seja, com base na execução de 3 pontos de prospeção.

A ZG1 é constituída por materiais de aterro, com a presença de restos de construção, resultantes de depósitos não controlados. Os materiais encontram-se descomprimidos, revelando deficientes condições de fundação devido à elevada deformabilidade e heterogeneidade que apresentam. Na zona norte do projeto, a uma cota mais alta, encontra-se uma espessa camada de aterro, com cerca de 3,2 m, que vai diminuindo para sul.

A ZG2 é constituída por solo arenoso com $5,0 \text{ MPa} < q_d < 12,5 \text{ MPa}$, ou seja, com valores de q_d favoráveis à realização do projeto, correspondentes a uma tensão admissível (q_{ad}) de 250 kPa. Este valor é adequado aos valores necessários para o projeto, que prevê uma tensão de 200 kPa, pelo que esta zona será adequada para terreno de fundação, se bem que subjacente se encontre a zona geotécnica ZG3, constituída por terreno de menor resistência.

A ZG4 é a camada com maior resistência na área em estudo, encontrando-se a norte do terreno a cerca dos 11,2 m de profundidade e nos locais de execução dos PDSP2 e PDSP3 entre 14,6 m e 15,0 m.

O nível freático foi detetado aos 2,2 m de profundidade no poço de prospeção T2 e aos 2,5 m no T3.



Fig. 1. Localização, em planta, dos Penetrómetros Dinâmicos Super Pesados (PDSP) e dos poços de prospeção (T).

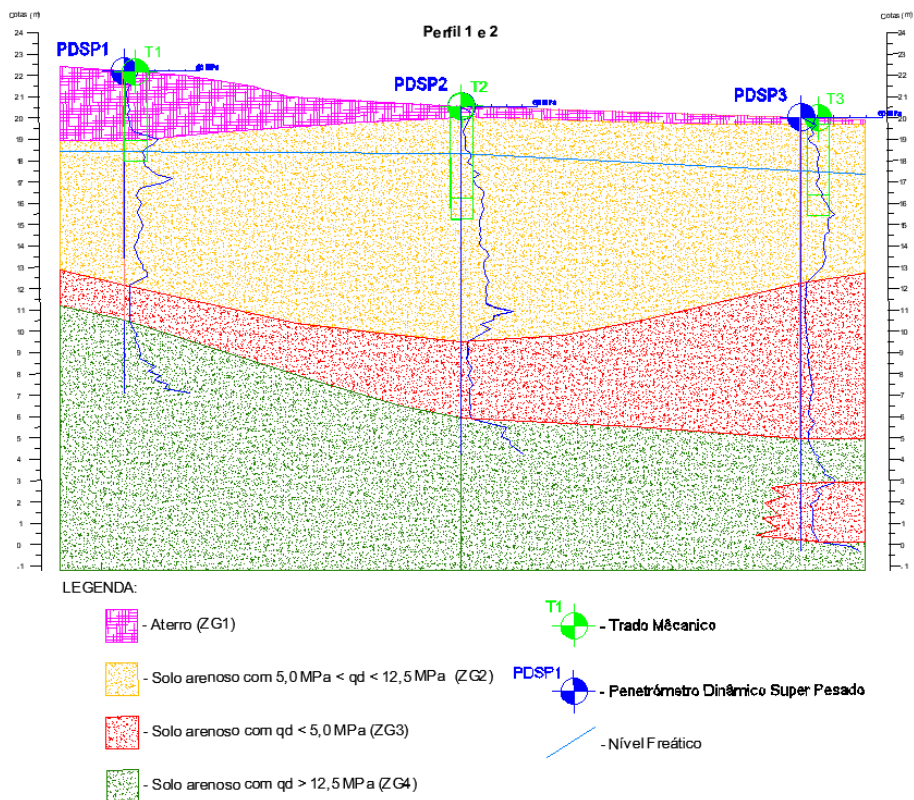


Fig. 2. Perfil geológico-geotécnico interpretativo.

Referências

EN ISO 22476-2 (2005). Geotechnical Engineering - Field testing, Part 2 - Dynamic probing.

Google Earth (2020).

Serviços Geológicos de Portugal (1966). Carta Geológica de Portugal, Folha 23-C Leiria (1:50 000). Lisboa.

Teixeira, C., et al. (1968). Notícia explicativa da Folha 23-C, Leiria. Direção-Geral de Minas e Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Estabilização de taludes de escavação entre o km 0+000 e o km 2+000 da EN337 no Concelho de Vouzela

Stabilization of excavation slopes between km 0+000 and km 2+000 of the EN337, in the municipality of Vouzela

F. Paulino (1), E. Fernandes (1) e A. Dinis (1)

(1) GEOVIA, S.A., fpaulino@geovia.pt

Summary: *This communication intends to present a case study of cut slopes that occur along 2km of the EN337, complying with the intervention foreseen by the infrastructures and municipal equipment affected by the great fire in the Centre region. This fire, which broke out in June 2017, affected around 75% of the area in the municipality of Vouzela, having burned around 85% of the forest area, causing 8 deaths, losses of more than 8 million euros in agriculture and 4,75 million euros in infrastructure and municipal equipment. The occurrence and characteristics of this type of fire was aggravated by the extreme phenomena associated with climate change. It is assumed that the elimination of the vegetation area had the immediate consequence of aggravating the phenomena of the local geological formations, thus increasing the risk of rock falls onto the road.*

Key words: *slopes, fire, deaths, climate, risk, rehabilitation, rock fall*

Palavras-chave: taludes, fogos, mortes, climáticas, risco, reabilitação, queda de blocos

Na sequência do grande incêndio, ocorrido no concelho de Vouzela em junho de 2017, e da consequente desflorestação que acelerou, desta forma, o processo erosivo, potenciando a instabilidade de taludes, foi efetuado um estudo relativo à estabilização dos taludes de escavação da EN337 entre o km 0+000 e o km 2+000 (Elsamex, 2019).

Com base no reconhecimento de superfície, verificou-se que a geologia existente no local compreende essencialmente rocha granítica com graus de alteração a variar essencialmente entre pouco alterado (W_2) e medianamente alterado (W_3) e depósitos de vertente, formados pela alteração do maciço, caos de blocos rochosos e terra vegetal.

Pela análise da situação existente, verificou-se a existência de zonas de caos de blocos em diferentes alturas do talude e zonas de afloramento do maciço rochoso pouco alterado e com graus de fracturação elevado, dando origem a planos de descontinuidades desfavoráveis à estabilidade.

No sentido de diminuir o risco acrescido de queda de blocos rochosos, foram definidas soluções de estabilização para o mesmo, que compreendem medidas para a prevenção de queda de blocos rochosos e consolidação do maciço rochoso, nomeadamente:

- Remoção controlada de blocos rochosos;
- Aplicação de enrocamento argamassado;
- Aplicação de pregagens pontuais;
- Instalação de rede metálica de tripla torção (Fig. 1);
- Instalação de painéis HEA (High Energy Absorption Panel) (Fig. 2).

A remoção controlada de blocos rochosos torna-se necessária devido a diferentes fatores, nomeadamente: Proximidade à via; Localização a grandes alturas, permitindo o ganho de energia cinética; Inclinação subvertical do maciço onde se encontram os blocos rochosos; Degradação das condições locais de atrito na base dos blocos, devido à intempérie ou incêndios.

A aplicação de enrocamento argamassado, definida como medida preventiva de queda de blocos, é preconizada na base de blocos rochosos que se encontrem soltos e com condições de atrito na base degradadas, propiciando o risco de queda.

O enrocamento argamassado aplicado na base dos blocos rochosos soltos tem como objetivo a proteção contra processos erosivos, causados essencialmente pela afluência de água, que despoletam a queda/rolamento de blocos soltos pelo talude.

Com o objetivo de consolidar o maciço rochoso em zonas onde ocorrem planos de descontinuidades

desfavoráveis à estabilidade do talude, preconizou-se a aplicação de pregagens pontuais no maciço granítico exposto. A sua aplicação foi efetuada no maciço rochoso com grau de alteração reduzido, para que o sistema pregagem-rocha funcione de forma solidária, impedindo assim a evolução da rotura.

A solução de aplicação de rede metálica de tripla torção (Fig. 1) foi definida para zonas do maciço granítico que apresenta simultaneamente um grau de alteração reduzido e um grau de fracturação elevado, o que consequentemente poderia implicar despreendimento de blocos de diversas dimensões e subsequente queda para a via.

A solução de aplicação de painéis HEA (Fig. 2) foi definida apenas para zonas onde a remoção isolada de blocos é inviável, pela inclinação mais íngremes e pelas alturas de talude mais significativas. Esta solução tem como objetivo sustentar blocos rochosos de dimensões consideráveis na posição onde se encontram.



Fig. 1. Aplicação de rede de tripla torção e pregagens em talude de escavação.

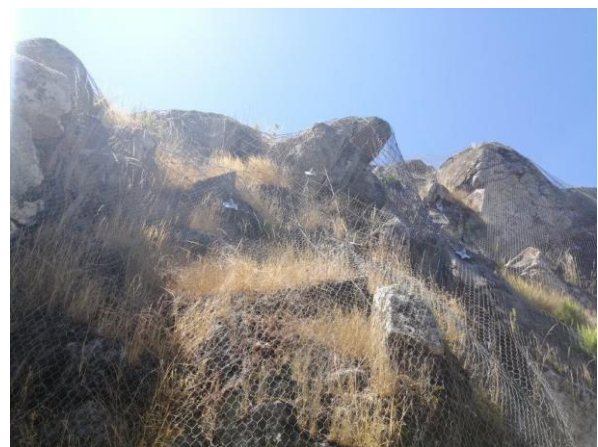


Fig. 2. Aplicação de painéis HEA e pregagens em talude de escavação.

Agradecimentos: Agradece-se à Câmara Municipal de Vouzela a disponibilidade no enquadramento do histórico dos taludes da EM337, bem como das diligências para as devidas autorizações que permitiram o reconhecimento geológico de superfície, bem como o levantamento topográfico da área em estudo.

Referências

Elsamex Portugal, S.A. – Estabilização de Taludes de Escavação da EN337 entre o km 0+00 e o km 2+000 (2019).
Memória descritiva e justificativa.

Cartografia geotécnica em áreas urbanas – O caso de Lisboa

Engineering geological mapping in urban areas – Lisbon case study

C. Pinto (1), I. Moitinho de Almeida (2) e R. Taborda (2)

(1) Câmara Municipal de Lisboa, claudia.pinto@cm-lisboa.pt

(2) Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa,

Summary: *In urban context geotechnical mapping take on special relevance, particularly in Lisbon city, because the intense occupation turns the outcrops not easily accessible, so data treatment and collection, obtained through several work field campaigns performed in the last decades, allows subsoil knowledge. Aware of the importance of this information, Lisbon Municipality has invested in collecting and managing studies dispersed through different institutions into a database that enabled the implementation of a geoscientific information system and the development of GeoSIG platform. The system allows to deliver different factor maps, particularly the Thickness of coverage deposits and Water level depth. These elements provide information about the geological constraints to urban occupation, the definition of regulation to territorial management instruments and support the Lisbon Geotechnical Mapping.*

Key words: *geotechnical mapping, urban areas, geotechnical databases, geoscientific information system, urban planning*

Palavras-chave: cartografia geotécnica, áreas urbanas, bases de dados geotécnicas, sistema de informação geocientífico, planeamento urbano

O aumento do número de projetos e obras, incluindo trabalhos de escavação para a construção de estruturas enterradas, com forte componente geotécnica, em zonas sensíveis da cidade de Lisboa, levou a que a CML estabelecesse diretivas para os trabalhos de escavação e fundação, onde se incluía a realização de estudos de caracterização dos maciços. Este processo, iniciado em 1982, permitiu a compilação de mais de 13000 sondagens localizadas na cidade de Lisboa.

Os dados obtidos através dessas sondagens foram sistematizados e incluídos numa base de dados – aplicação GeoSIG, cuja estrutura foi desenvolvida de forma que os dados fossem organizados em função dos fins a que se destinam, o que possibilitou a sua aplicação ao planeamento e gestão urbana na cidade de Lisboa, constituindo igualmente uma ferramenta de apoio à decisão.

A utilização de um sistema de informação geocientífico permitiu otimizar as operações de análise espacial dos dados com base em modelos de geoprocessamento automático, através dos quais foram produzidas várias cartas de fatores e de síntese que consubstanciam a Carta Geotécnica de Lisboa.

No presente artigo será apresentada a análise realizada na zona de Telheiras e Campo Grande (Fig. 1).



Fig. 1. Ortofotomapa de enquadramento da área de estudo.

Nesta zona foram intersetados, da base para o topo, o Complexo de Benfica e formações do Miocénico Inferior e Médio, recobertas por materiais mais recentes, entre os quais aluviões das linhas de água subsidiárias, e aterros que resultam da exploração de antigos areiros, barreiros e pedreiras de calcário localizadas na zona (Pais *et al.*, 2006) (Fig. 2).

Para demonstração da aplicação da base de dados GeoSIG e do sistema de informação geocientífico desenvolvido, foi efetuada a modelação da posição do nível freático e a espessura de aterros, que pese embora não sejam impeditivas ao desenvolvimento urbano, podem condicioná-lo por questões

relacionadas com a aptidão para determinado fim, desenho urbano e custo de desenvolvimento.

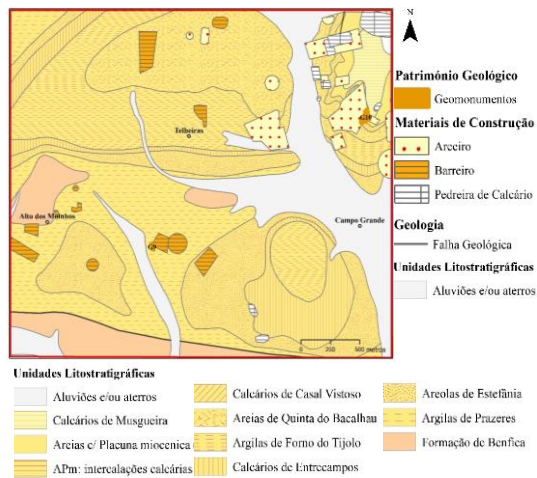


Fig. 2. Extrato da carta geológica de Lisboa e localização de antigas explorações (Fonte: Pais et al., 2006)

A posição do nível freático foi representada por pontos de diferentes tonalidades em função da profundidade, e em área, o que permitiu definir classes de profundidade de ocorrência do nível de água em resultado da aplicação do interpolador determinístico IDW (Inverse Distance Weighted) (Fig. 3). Este conhecimento permite otimizar a gestão do uso e aproveitamento da água em subsolo, constituindo informação fundamental para planeamento urbano (Pinto, 2020).

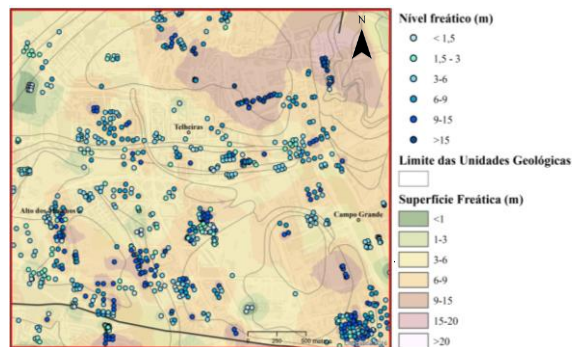


Fig.3. Profundidade do nível freático (Fonte: Pinto, 2020)

Agradecimentos: Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia o financiamento obtido através do Projeto GeoSIS_Lx - Modelação e cartografia geológica e geotécnica tridimensional em áreas urbanas - Aplicação a Lisboa e ao QREN o financiamento do Projeto GeoSIG - LISBOA-01-0527-FEDER-000894.

Referências

- Pais, J.; Moniz, C.; Cabal, J.; Cardoso, J.L.; Legoinha, P.; Machado, S.; Morais, M.A., Lourenço, C.; Ribeiro, M.L.; Henriques, P.; Falé, P. (2006). Notícia Explicativa e 2.ª Edição da Folha 34-D (Lisboa). Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50 000. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. Lisboa.
- Pinto, C. (2020). Modelação de dados geológicos e geotécnicos visando a produção de cartografia geotécnica em áreas urbanas – Aplicação a Lisboa. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia, especialidade Geotecnia.

Para análise da espessura de aterros foi novamente utilizado o interpolador IDW (Fig. 4).

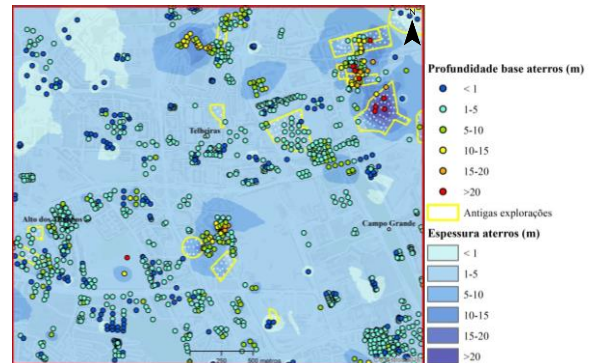


Fig.4. Espessura de aterros (Fonte: Pinto, 2020)

Da análise do mapa pode-se afirmar que as espessuras mais elevadas de aterros se encontram associadas a antigas explorações de recursos naturais, posteriormente preenchidas.

O modelo desenvolvido permitiu a produção de mapas temáticos para diversos fins, de forma célere e constitui uma ferramenta para apoio à decisão.

A metodologia de trabalho desenvolvida pode ser facilmente generalizável e replicada para outras áreas de estudo, desde que a informação base esteja disponível, em quantidade representativa do território, mas também em termos da qualidade dos dados disponíveis.

Estas ferramentas possibilitam aos vários atores no território, nomeadamente projetistas, técnicos de planeamento, entre outros, avaliar os condicionalismos e estimar a ordem de grandeza dos custos para a execução de determinada obra geotécnica, possibilitando desde uma fase inicial, otimizar os projetos e reduzir custos.

Estudo geológico-geotécnico para a requalificação do miradouro do Zebro, em Oleiros

Geological-geotechnical study for the requalification of the Zebro belvedere, in Oleiros

M. Quinta Ferreira (1)

(1) Universidade de Coimbra, CGeo, Dep. Ciências da Terra, IPN labgeo, Coimbra, Portugal, mqf@dct.uc.pt

Summary: A geologic-geotechnical study, using a non-intrusive approach, was done to characterize the foundation of the Zebro belvedere, located over a quartzite crest. Geomechanical parameterization of the massif and mooring was performed. The assessment of safety conditions and the evaluation of the parameters necessary for the dimensioning of the foundation and anchoring was performed to assist the design and the planning of the construction work.

Key words: Engineering geology, quartzite, belvedere, Oleiros

Palavras-chave: Geologia de engenharia, quartzito, miradouro, Oleiros.

Objetivos

O estudo Geológico e Geotécnico do Miradouro do Zebro, teve como objetivo a sua requalificação, pretendendo-se construir uma plataforma que se projeta na frente da crista, de modo a permitir uma apreciação mais ampla e segura da excelente vista panorâmica do local.

Foi realizado um estudo Geológico e Geotécnico diferente do habitual face à dificuldade em colocar e operar o equipamento de sondagens na falésia, sem acessos ao local. A metodologia alternativa foi discutida com o projetista da estrutura do Miradouro do Zebro, Eng. Nunes da Silva do GOP. O Município de Oleiros encomendou a cartografia de pormenor, efetuada por Drone, abrangendo a crista quartzítica do Miradouro e a sua envolvente (Oliveira et al., 1992; Romão et al., 2013). Procedeu-se à observação, quer no topo, quer na zona de apoio do miradouro, recorrendo a técnicas de escalada (Fig.1), à caracterização e modelação da geologia e geotecnia da crista, com destaque para a zona de fundação e das ancoragens sub-horizontais necessárias à segurança da estrutura suspensa do miradouro.

Tarefas realizadas

A metodologia utilizada requereu a realização das seguintes tarefas: - parametrização geomecânica do maciço de fundação e de amarração do miradouro, com base na geologia, na estrutura geológica, nos ensaios expeditos de caracterização da rocha e das descontinuidades (Bieniawski, 1989; Vallejo, 2011; Look, 2014; Marinos e Hoek, 2000); - avaliação das condições de segurança num perfil segundo o alinhamento da crista (Hoek e Brown, 2018); - avaliação dos parâmetros necessários ao

dimensionamento da fundação e das ancoragens; - análise da estabilidade dos taludes com o software Slide2.



Fig. 1. Zona de apoio do miradouro estudada com a utilização de técnicas de escalada.

Condicionantes e recomendações

É relevante a dificuldade de acesso ao local de construção, a grande dificuldade de colocação de máquinas devido à topografia agressiva, aos exíguos acessos e espaço reduzido, bem como aos problemas de transporte de materiais e equipamentos necessários à construção, apesar de no início da obra se poderem melhorar estas condições.

A construção de um passadiço de acesso à zona de implantação do Miradouro, apesar da difícil topografia, apresentará vantagens de eficiência durante os trabalhos de construção, podendo ser integrada na solução de acesso definitiva à plataforma do Miradouro.

Um aspeto que tem enorme importância é a necessidade de preservar a rudeza da paisagem e as

características naturais do local, evitando a destruição irreparável das superfícies da rocha, para não se desvalorizar ou destruir o que torna este local único e interessante. Há necessidade de efetuar a intervenção com o mínimo de perturbação do local evitando a destruição ou projeção de blocos que aparentem instabilidade, sem uma justificação sólida, pois que são estes aspetos singulares que valorizam o local do Miradouro. Toda a intervenção deverá ser extremamente controlada em termos de interferência com o ambiente natural, reduzindo ao mínimo todos os trabalhos que se verifiquem imprescindíveis de realizar para a concretização da obra. Os trabalhos devem ser pensados e realizados de modo a que no final da obra o ambiente natural não aparente ter sido perturbado, o que vai requerer um planeamento, organização e realização muito eficientes. Na realização da fundação da estrutura do Miradouro será necessário verificar as condições efetivas após a escavação do volume de rocha necessário ao encastramento da estrutura. O bloco na base da estrutura de encastramento e de amarração, apresenta indícios de abertura das descontinuidades, mas consideramos que uma apreciação definitiva apenas deverá ser efetuada após a escavação do encastramento de modo a ser efetuada a avaliação final das condições de estabilidade. O bloco referido deverá preferencialmente ser mantido no local, se necessário através de utilização de pregagens direcionadas para o interior do maciço, ou fragmentado e removido pelo cimo da crista. Independentemente das

considerações anteriores, a segurança dos trabalhadores deverá ser prioritária em todas as decisões de obra.

No processo de escavação e de furação deverá ser tida em conta a natureza do quartzito, que é uma rocha muito resistente, pelo que as ferramentas de trabalho terão que possuir características de resistência adequadas à rocha. A furação destrutiva necessária à implantação das microestacas, terá que ser feita com o arrefecimento eficiente da ponteira. As descontinuidades aproximadamente paralelas à orientação da crista, tenderão a desviar a direção de furação quando atacadas com pequenos ângulos, pelo que poderá ocorrer desvio durante a realização da furação.

Considerações finais

Realça-se que o trabalho de caracterização do maciço utilizou uma abordagem não intrusiva. Apesar disso, o estudo efetuado permitiu uma caracterização que se considera ajustada à necessidade de informação para o desenvolvimento do projeto e o planeamento dos trabalhos de construção.

Realça-se ainda que os maciços geológicos ao sofrerem uma evolução natural apresentam por vezes estruturas ou características que nem sempre são facilmente identificáveis, e que podem condicionar o seu comportamento. Deve ser efetuado o acompanhamento da construção, de modo a antecipar, evitar ou corrigir qualquer comportamento anómalo que venha a ser identificado.

Agradecimentos: Ao Município de Oleiros e ao GOP pela disponibilização de elementos para o trabalho. O estudo teve a colaboração da Eng^a. Mónica Pratas Silva, do Doutoramento em Geologia da UC; do Eng. Renato Liscar, do Mestrado em Engenharia Geológica e de Minas da UC; e de Nuno Mateus da Associação Raia Aventura, na escalada da frente do Miradouro do Zebro. Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projeto UIDB/00073/2020.

Referências

- Bieniawski, Z. (1989). Engineering rock mass classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Wiley & Sons.
- Vallejo, Luis Gonzalez de (2011). Geological Engineering. Taylor and Francis CRC ebook. Kindle Edition.
- Hoek, E, & Brown, E. T. (2018). The HoekBrown failure criterion and GSI e 2018 edition. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.001>
- Look, B. (2014). “Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables” 2nd Edition, Taylor and Francis Group, London.
- Marinos, P., & Hoek, E. (2000). GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proc. GeoEng2000 Conference, Melbourne., 1422–1442. <https://www.rocsience.com/assets/resources/learning/hoek/GSI-A-Geologically-Friendly-Tool-for-Rock-Mass-Strength-Estimation-2000.pdf>
- Oliveira, J. T., Pereira, E., Ramalho, M., Antunes, M.T. & Monteiro, J.H. (Coords.) (1992) – Carta Geológica de Portugal na escala 1/500 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Romão, J, Metodiev, D., Dias, R., Ribeiro, A. (2013). Evolução Geodinâmica dos Sectores Meridionais da zona Centro-Ibérica. In R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha e J. Kullberg (Eds.), Geologia de Portugal, Livraria Escolar Editora.

Condicionantes geológicas e geotécnicas do projeto do elevador das Escadas Monumentais, Coimbra

Geological and geotechnical constraints of the “Escadas Monumentais” elevator project, Coimbra

M. Quinta Ferreira (1), P. M. Tiago (2) e J. P. Henriques (3)

- (1) Universidade de Coimbra, CGeo, Dep. Ciências da Terra, IPN labgeo, Coimbra, Portugal, mqf@dct.uc.pt
 (2) ECA Projetos, ISEC, Coimbra, Portugal
 (3) IPN labgeo, Coimbra, Portugal

Summary: The geological and geotechnical characterization of the slope adjacent to the “Escadas Monumentais” was carried out in Coimbra, to support the design of a new elevator to access the University's Pole I. Three geotechnical zones were considered and allowed to define the geotechnical constraints for the project.

Key words: Engineering geology, foundations, lift, Coimbra

Palavras-chave: Geologia de engenharia, fundações, elevador, Coimbra.

Introdução

No âmbito do projeto do elevador de acesso ao Polo I da Universidade de Coimbra, que se pretende construir imediatamente a norte das escadas monumentais, entre a rua Castro Matoso e a Praça D. Dinis, foi efetuado um estudo geológico e geotécnico. Procurou-se efetuar a identificação dos terrenos, avaliar as suas características e distribuição espacial, assim como estimar os parâmetros e condicionantes geotécnicas a adotar no projeto e na construção. Em abril de 2021 foram realizadas duas sondagens mecânicas à rotação com ensaios de SPT a cada 1,5 m de furação. Foram também utilizadas duas sondagens realizadas em julho 2002, no âmbito do estudo Geológico-Geotécnico de Terrenos do Polo I, promovido pela Universidade de Coimbra (Tecnasol FGE, 2002). Considerando as quatro sondagens referidas (Fig. 1), foram atingidas profundidades entre 9,0 m (EEM2) e 24,0 m (S1PE).



Fig. 1. Localização das duas sondagens realizadas em 2002 por solicitação da Universidade de Coimbra (S1PE e S2PE), e das duas sondagens realizadas no presente estudo (EEM1 e EEM2).

Zonamento Geotécnico

Foram definidas três zonas geotécnicas (Fig. 2) que se

passam a descrever.

ZG3 - Zona Geotécnica 3: Aterro (SPT de 5 a 33 pancadas)

É constituída por materiais com abundante argila, de cor castanhada acinzentada, com fragmentos de rocha e de alvenaria, muito heterogêneos. A espessura varia entre 4,4 m na base e 10,8 m no topo, junto à Praça D. Dinis. Corresponde a materiais depositados essencialmente durante as demolições na alta de Coimbra, realizadas pelo Estado Novo, entre 1942 e 1969, contemporâneas com a construção das Escadas Monumentais e a Praça D. Dinis. Os materiais depositados deslizaram ao longo do talude e ainda hoje existem sem grande alteração, mas encontram-se cobertos por vegetação. O comportamento mecânico é mau, em regra, tendendo a apresentar melhores características para a base. Os valores mais elevados do SPT, devem-se aos elementos grossos incorporados nos depósitos, falseando a avaliação do ensaio. Esta zona geotécnica é pouco resistente, muito deformável e heterogênea, não sendo adequada como terreno para fundações, nem como maciço de ancoragem, pelo que todos os elementos de fundação do Elevador devem ser realizados a cotas abaixo desta zona, que é facilmente escavável com meios mecânicos (pás mecânicas e/ou baldes de escavadoras).

ZG2 - Zona Geotécnica 2: Argila (SPT de 22 a 46 pancadas)

É constituída essencialmente por solos argilosos, por vezes com areia, de cores variáveis, desde acastanhado a avermelhado ou esverdeado, que se encontram in situ. Por vezes incorpora fragmentos de

calcário. A espessura é de 3 m no cimo do talude, de 5 m na zona intermédia e de 2 m na base. Resulta dos processos de alteração superficiais, verificando-se a tendência de aumento dos valores dos ensaios SPT com o aumento da profundidade. A ZG2 apresenta um comportamento mecânico bom, pois nas sondagens, foram registados valores de SPT entre 22 e 46 pancadas. As camadas deverão apresentar uma inclinação média de cerca de 16° para oeste. Esta zona geotécnica já é adequada para ser utilizada como terreno de fundação. Em termos de escavabilidade poderá recorrer-se a meios mecânicos.

ZG1 - Zona Geotécnica 1: Argilito/Arenito (SPT > 60 pancadas)

É a melhor das zonas geotécnicas, sendo constituída por materiais in situ, essencialmente argilitos siltosos e margosos no topo, com intercalações carbonatadas, aumentando os arenitos para cotas inferiores. As cores são essencialmente acinzentadas no topo, e castanhadas, esverdeadas a acinzentadas nas zonas de cotas inferiores. Apresenta um comportamento mecânico bastante bom, com valores dos SPT acima de 60 pancadas, apesar de pontualmente poder apresentar valores menores, sempre acima de 41 pancadas, em níveis mais plásticos. Esta zona geotécnica é a que melhor se adequa para a execução

de fundações, pois é a mais resistente e menos deformável, pelo que a fundação da torre do elevador deve ser realizada nesta zona (Fig. 2). Em termos de escavabilidade poderá recorrer-se a meios mecânicos nas zonas de rocha decomposta, embora possa ser necessário recorrer à utilização de martelos hidráulicos para desmontar os volumes com comportamento rochoso.

Considerações Finais

No cimo do talude, adjacente à Praça D. Dinis, o apoio da estrutura horizontal do elevador, deverá ser efetuada abaixo dos aterros, na ZG2, a uma profundidade superior a 10 m, ou eventualmente na ZG1, a uma profundidade superior a 12 m e com soluções do tipo microestacas. Para os apoios intermédios da estrutura horizontal do elevador, as recomendações são idênticas às referidas para o apoio na zona da Praça D. Dinis. Na base da estrutura de entrada do elevador, poderão ser encontrados aterros que deverão ser removidos. A fundação da torre do elevador deve ser realizada na ZG1. Na escavação para a realização da torre do elevador há que ter em atenção que é necessário atravessar a zona de aterros, e que o nível freático se encontra sensivelmente na interface entre os aterros e a ZG2, pelo que será necessário efetuar a contenção e drenagem dos aterros da ZG3.

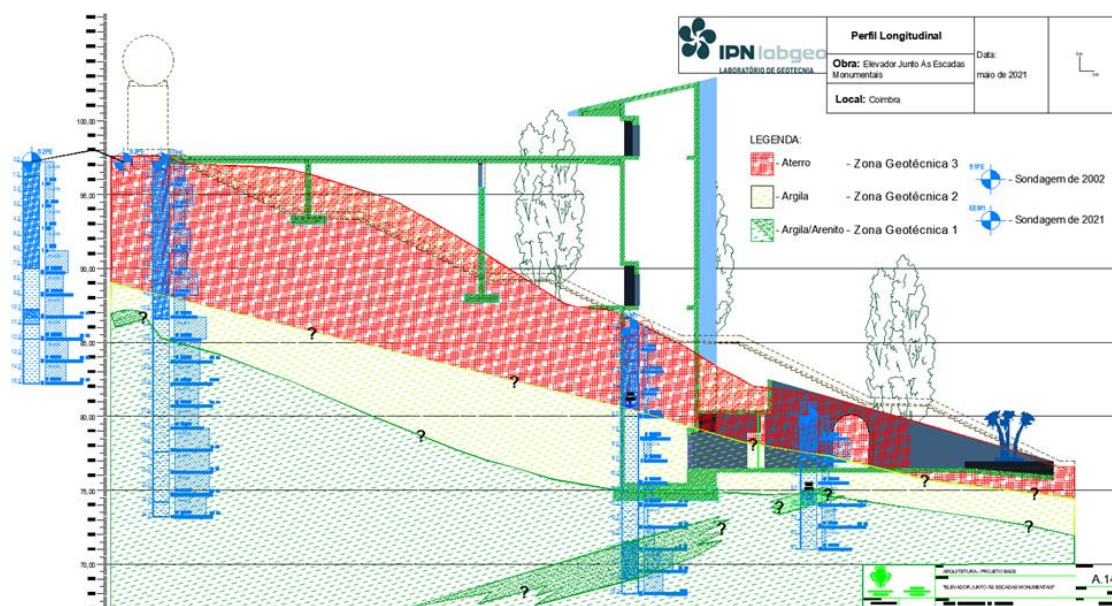


Fig. 2. Perfil geotécnico interpretativo segundo o desenvolvimento do Elevador das Escadas Monumentais.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projeto UIDB/00073/2020.

Referências

Tecnasol FGE (2002). Terrenos do Polo I da Universidade de Coimbra. Estudo Geológico-Geotécnico. Relatório O 1715/S11104/02

Considerações acerca da sustentabilidade na estabilização e reabilitação de taludes

Considerations about sustainability in slope stabilization and rehabilitation

M. Silva (1), M. Quinta Ferreira (1) e P. S. Andrade (1)

(1) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal, mpsilva@student.dct.uc.pt

Summary: *The occurrence of slope failures (e.g. roadway slopes, quarry fronts and abandoned massifs from old mining operations), can cause severe economic damage or put lives at risk. Thus, a conscious intervention is required to recover abandoned or unstable slopes and exploration sites using efficient and environmentally suitable methodologies. Geology must be used as the basis of the interventions success in projects dealing with the stability and the rehabilitation of massifs. The proposed solutions, based on natural engineering and geomorphological restoration, must consider factors such as efficiency, economy and sustainability and also promote the multidisciplinary of the project, as well as their subsequent dissemination.*

Key words: *geology, geomorphological restoration, natural engineering, rock masses, sustainability*

Palavras-chave: geologia, restauração geomorfológica, engenharia natural, maciços rochosos, sustentabilidade

Nos estudos de avaliação das condições de estabilidade de taludes é essencial considerar o tipo de material geológico e as suas propriedades geotécnicas, o seu comportamento futuro e o tipo de soluções utilizadas. Por isso é essencial a avaliação do comportamento geomecânico do material geológico e para isso utilizam-se as classificações geomecânicas tais como Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989) e o Slope Mass Rating (Romana *et al.*, 2001) ou ainda a classificação Q-Slope (Neil & Barton, 2018), esta última permite obter o ângulo de limite máximo do talude tendo em conta as condições geológicas e ambientais do local.

No que respeita à análise da estabilidade pode recorrer-se, por exemplo, ao *software* Slide da Rocscience, para o cálculo do fator de segurança do talude.

A instabilidade pode ocorrer em antigas explorações de recursos geológicos, podendo requerer a sua reabilitação, de modo a evitar instabilização nos taludes de escavação ou de aterro e permitir uma melhor integração ambiental destes espaços, bem como a diminuição de potenciais situações de perigosidade.

Quando um talude sofre instabilização, verifica-se uma modificação da sua geometria e do seu comportamento geomecânico. Por isso, nas intervenções de estabilização e de reabilitação há que ter a preocupação da utilização de recursos geológicos locais como base para a realização da

estabilização e da reabilitação, de acordo com as necessidades de cada local. O balanço de materiais de aterro e de escavação é fundamental para uma boa recuperação. A integração da restauração geomorfológica é, por isso, uma opção viável, pois consiste no processo de desenhar e construir formas de relevo que replicam a morfologia e a dinâmica da natureza local, com o método GeoFluv™ & Natural Regrade Software (Duque *et al.* 2020) que tem a preocupação de efetuar uma restauração considerando em conjunto a geologia e a ecologia do local, bem como a integração paisagística do mesmo.

Em Portugal a utilização de políticas sustentáveis na estabilização de maciços e a reabilitação de zonas de exploração de recursos minerais tem apresentado um desenvolvimento crescente, continuando a necessitar de maior divulgação. A restauração geomorfológica é um exemplo, sendo uma metodologia pouco conhecida em Portugal.

No Cabo Mondego encontramos exemplos de abandono de antigas explorações de recursos minerais, que atualmente corresponde a uma ferida aberta na paisagem, e, que devido à sua história geológica de grande relevância a nível mundial, se tornou urgente a sua reabilitação. O Cabo Mondego é um dos locais, onde se pode utilizar a geologia de engenharia associada à restauração geomorfológica e à engenharia natural, numa perspetiva de estudo piloto, onde se misturam e complementam técnicas de reabilitação e de estabilização diferentes. As

técnicas de restauração geomorfológica e de engenharia natural estão intrinsecamente dependentes da geologia do local, sendo pouco utilizadas em Portugal, e ainda menos em zonas costeiras, pelo que há grande interesse de investigação na sua aplicação ao Cabo Mondego. Pretende-se que através destas técnicas haja a integração do ambiente envolvente, incluindo a fauna e flora, de modo a que a reabilitação seja um processo que, a longo prazo, se torne cada vez mais autónomo e que confira uma maior estabilidade aos sistemas naturais do local.

A geologia deverá estar na base das soluções utilizadas, uma vez que proporciona um bom conhecimento do material geológico existente, das suas características e comportamento esperado, facilitando muito a adoção das melhores soluções e técnicas que melhor se ajustem às problemáticas encontradas.

Nos taludes, é muito importante a sua integração com o meio envolvente, recorrendo, sempre que possível, aos materiais locais e a recursos naturais, mantendo o foco na segurança. Em alternativa, podem usar-se os ecomateriais, que estão numa fase de ascensão e são cada vez mais procurados para intervenções que visam a sustentabilidade, mantendo o mesmo grau de eficiência que os materiais

tradicionais e uma maior rentabilidade económica a longo prazo, o que se enquadra na abordagem da sustentabilidade.

Por isso, no projeto financiado pela FCT, através da bolsa UI/BD/150842/2021, está a proceder-se ao estudo da melhor conjugação entre as técnicas de geologia de engenharia, geotecnia, engenharia natural e restauração geomorfológica. Procura-se que a geologia e a geotecnia intervenham na estabilização e reabilitação de maciços com bases cada vez mais sustentáveis e, acima de tudo, com resultados eficientes, económicos e que ajudem no combate às alterações climáticas.

No processo de reabilitação de taludes é essencial, a integração de sistemas vivos, através da engenharia natural (Fernandes & Freitas, 2011) e a recuperação, o mais natural possível, proporcionando a melhoria do meio ambiente dos locais a intervir, aumentando a qualidade de vida dos seres humanos, bem como da fauna e da flora, com uma integração paisagística e funcional através da restauração geomorfológica, assegurando um fator de segurança adequado, e minimizando as perigosidades tendo em conta a população, as vias de comunicação, os equipamentos e as construções, com recurso ao estudo prévio do comportamento dos materiais geológicos.

Agradecimentos: Os autores expressam a sua gratidão à FCT que financia o projeto através da bolsa UI/BD/150842/2021 e ao Centro de Geociências da Universidade de Coimbra. Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projeto UIDB/00073/2020.

Referências

- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.
- Fernandes, J. & Freitas, A. (2011). *Introdução à Engenharia Natural (Volume II)*. EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.
- Martín-Duque, J. F., Sanz, M. A., Bodoque, A., Martín-Moreno, L. & Martín-Moreno, C. (2010). Restoring earth surface process through landform design. A 13-year monitoring of a geomorphic reclamation model for quarries on slopes. *Wiley InterScience*. Doi: 10.1002/esp.1950.
- Neil, B. & Barton, N. (2018). Rock Slope Design using Q-Slope and Geophysical Survey Data. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. <https://doi.org/10.3311/PPci.1287>.
- Romana M., Serón J.B. & Montalar E. (2001). La clasificación geomecánica SMR. Aplicación experiencias y validación". V Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables. Madrid, páginas. 393-404.

Modelação geológica 3D para apoio ao desenvolvimento urbano – o exemplo da área da Lisnave, Almada

3D geological modeling for urban development support – the example of the Lisnave area, Almada

P. F. Silva (1), A. G. Oliveira (2), S. Soares (3), R. Dias (3) e J. Almeida (1)

- (1) GeoBioTec & Departamento de Ciências da Terra, NOVA School of Science & Technology, Universidade Nova de Lisboa; apfs@fct.unl.pt
- (2) DrillGO
- (3) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG)

Summary: *The Lisnave shipyard project, located in Almada County, was based on nearly fifty boreholes carried out in the 1950s and 1960s, most of them with over 10 m long. Therefore, this area was selected for the development of a three-dimensional (3D) geological model for engineering geological mapping. Through this study, the detailed stratigraphic column of the site was defined, and the existence of a fault not published in the geological map (sheet 34-D, Lisbon) was inferred. The purpose of this communication is to emphasize the value of 3D modeling in enhancing geological knowledge and to present the methodology used in the study.*

Key words: *Site investigation, 3D modeling, geological modeling, urban planning, Almada*

Palavras-chave: *Estudo de sítios, modelação 3D, modelação geológica, planeamento urbano, Almada.*

Introdução

O projeto para a construção dos Estaleiros Navais, SA, vulgarmente conhecidos por Lisnave, propriedade da antiga empresa CUF, iniciou-se nos anos 50 do século passado e prolongou-se até à década seguinte, com o objetivo de construir um conjunto de docas secas de grandes dimensões. O estaleiro, localizado em Almada, entre a zona de Cacilhas, a Norte, e a da Mutela, a Sul, assumiu grande relevância económica até 1990, mas encontra-se hoje quase abandonado, existindo já um projeto de reabilitação desta zona de uso industrial para uso residencial.

Tendo em vista orientar o desenvolvimento do local e considerando que existem mais de 50 sondagens, efetuadas essencialmente na passada década de 60, várias delas com mais de 20 m de profundidade, selecionou-se um trecho (Figura 1a) para desenvolver um modelo conceptual 3D das condições geológicas locais até uma profundidade máxima de 35 m.

Para processar e analisar a informação obtida pela análise dos registos (“logs”) das sondagens e elaborar o correspondente modelo geológico 3D no *software* Leapfrog Geo™, foi necessário identificar as formações geológicas e os seus limites. O Leapfrog™ é hoje em dia muito utilizado na modelação geológica de estruturas complexas. Apresenta-se, seguidamente, uma síntese da metodologia adotada e dos resultados obtidos.

Enquadramento geológico

A área em estudo situa-se na margem Sul do Rio Tejo, em frente a Lisboa, e faz parte da Bacia do Baixo Tejo. A oeste do estaleiro e acima da cota zero (Figura 1a), afloram unidades miocénicas semelhantes às encontradas em Lisboa. A principal diferença destas unidades no concelho de Almada é que apresentam granulometria normalmente mais fina e/ou carbonatada e são mais difíceis de distinguir entre si, tendo sido, nalguns casos, agrupadas. Nos taludes identificam-se as formações compreendidas entre “*M_{MG}* - Calcários de Marvila e Grés dos Grilos indiferenciados” (no topo sobranceiro à Margueira/Mutela) e “*M_{PM}*, Areias com *Placuna miocenica*” (junto ao pavimento) na zona imediatamente a norte da Lisnave. Aterros recentes e alguns sedimentos aluvionares depositados pelas águas do Tejo encobrem estas unidades a oeste. As formações nessa zona apresentam uma inclinação média de 5° para SSE.

Modelação 3D – o modelo e as técnicas de validação

A modelação geológica em 3D é, cada vez mais, uma ferramenta indispensável nos estudos geológicos e geotécnicos, facilitando a interligação entre a geologia local e o dimensionamento, com a consequente redução de custos dos projetos. Para obter o modelo geológico 3D conceptual do local, foram selecionadas 30 sondagens das que foram cedidas pela Administração do Porto de Lisboa no

final da década de 90 no âmbito da investigação de Silva (2003) relativa ao concelho de Almada.

A análise das informações das sondagens para a modelação 3D envolveu a definição da sequência deposicional das várias camadas miocénicas intercetadas, tendo por base, principalmente, os estudos desenvolvidos por Silva (2003) e a sequência estratigráfica definida por Pais et al. (2012). Além disso, utilizaram-se levantamentos topográficos e cartografia geológica elaborados para área envolvente no âmbito de investigações anteriores na *NOVA School of Science & Technology - NSST* (Silva, 2003; Pais et al., 2006), e Laboratório Nacional de Energia e Geologia - LNEG.

Para avaliar a incerteza dos dados e a validade do modelo, foram selecionadas e retiradas da elaboração do modelo geológico 3D 20 % das sondagens originais (seis sondagens, pontos a azul na Fig. 1a) em áreas onde havia grande quantidade de informações, tendo-se comparado o modelo obtido com as sondagens selecionadas que não foram utilizadas na sua execução.

Principais resultados obtidos

O modelo geológico 3D apresentado na Fig. 1b está em concordância com a informação geológica conhecida para o subsolo da área da Lisnave, designadamente a espessura média das camadas referidas em Pais et al. (2006, 2012).

Contudo, as formações geológicas do Miocénico situadas sobre a unidade “ M_{MG} - Calcários de Marvila

e Grés dos Grilos indiferenciados” afloram em áreas bem acima do zero hidrográfico na região de Almada e, por isso, não aparecem no modelo na área em estudo devido à altitude da zona modelada ser de apenas 3 m. As formações geológicas do Miocénico abaixo da formação “ M_{VQ} , Areias de Vale de Chelas e Calcários de Quinta das Conchas indiferenciados” também não foram modeladas devido à profundidade máxima alcançada pelos registos das sondagens disponíveis. A presença da formação “ M_{MG} - Calcários de Marvila e Grés dos Grilos indiferenciados” em algumas sondagens junto à N10 (Fig.1a) parece indicar a presença de uma falha N-S na envolvente à zona modelada, a eventual falha do Pontal referida por Silva (2003).

Conclusões

O estudo de modelação geológica 3D realizado para a área da Lisnave foi eficiente e proporcionou uma visão detalhada da sequência litológica do subsolo, tornando-se num suporte valioso para as fases iniciais de dimensionamento de projetos de engenharia. Além disso, este estudo destaca a utilidade e potencial da modelação 3D no planeamento e desenvolvimento urbano detalhado, sendo muito importante que os registos de sondagem tenham seguido as normas técnicas adequadas para a descrição dos terrenos e tenham alcançado pelo menos 10 m de profundidade.

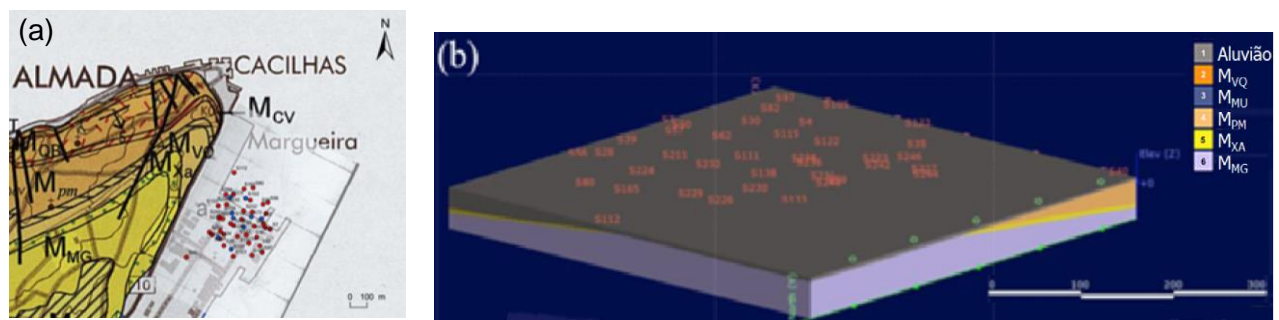


Fig. 1. (a) Extrato da carta geológica da região da Lisnave com as sondagens utilizadas (pontos vermelhos e azuis); (b) Modelo geológico 3D obtido com o Leapfrog Geo (adaptado de Oliveira, 2021)

Agradecimentos: O trabalho P. F. da Silva e J. Almeida foi apoiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através do projeto GEOBIOTEC - UIDP/04035/2020.

Referências

- Oliveira, A.G. (2021). 3D Engineering geological mapping of Almada’s NE riverine front. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, NOVA School of Science & Technology, Caparica.
- Pais, J., Cunha, P.P., et al. (2012). The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal): A Cenozoic Record in the European Atlantic Domain. Springer, Heidelberg.
- Pais, J., Moniz, C. Cabral, J., Cardoso, J. L., Legoinha, P., et al. (2006). Carta Geológica de Portugal, na escala de 1/50.000, Notícia explicativa da Folha 34-D Lisboa. INETI, Lisboa.
- Silva, P. F. da (2003). Cartografia Geotécnica do Concelho de Almada e o Sistema de Informação Geo-Almada. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Geotecnia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Geotechnical investigation on earthquake-induced landslide affecting the Dominican residential located at Salau, Manatuto Municipality, Timor-Leste

Investigação geotécnica do deslizamento de terra induzido pelo terremoto que afetou a residêncial Dominicana, localizada em Salau, município de Manatuto, Timor-Leste

O. V. Tilman de Jesus (1,2), F. J. Jones (1), J. I. Mendes (1), Y. A. de Sousa (1), A. Fernandes (1) and H. U. Alkatiri (1)

(1) Instituto do Petróleo e Geologia, Geological Hazard Division (IPG), Dili, Timor-Leste, otilman@ipg.tl

(2) Centro de Geociências, Universidade de Coimbra, Portugal

Sumário Timor-Leste é vulnerável a vários perigos naturais, que induzem danos significativos. A investigação geotécnica mostrou que na área de estudo (Salau, Manatuto, Timor-Leste) ocorrem principalmente solos siltosos, arenosos, argilosos e cascalhos. O fator de segurança global (FS) obtido com o programa Slide (v. 6.0) baseou-se na geometria do talude, no peso volúmico, ângulo de atrito e coesão dos solos. Em condições naturais/secas, o FS é de 1,002, portanto, instável a longo prazo. Sob condições sísmicas e saturadas, com a água a 1,2 m e uma aceleração de 0,28, o FS foi de 0,931. Usando o programa Plaxis, obteve-se um FS de 0,69. Recomenda-se o redimensionamento do talude com medidas estruturais e não estruturais, melhoria das propriedades do material de enchimento, usando agregados de calcário e areia com baixo teor em argila, bioengenharia com *Gmelina arborea* (madeira de faia) e gramíneas vetiver, complementando com drenagem sistemática. Para além disso, sugere-se construir um muro de gabião, com 2 m de altura, e providenciar a respetiva monitorização e manutenção regulares.

Palavras-chave: Investigação Geotécnica, Geologia, Terremoto, Fator de Segurança, Análise de Estabilidade de Taludes

Key words: Geotechnical investigation, Geology, Earthquake, Factor of Safety, Slope Stability Analysis

Timor-Leste, in general, is vulnerable to natural hazards which include, floods, strong winds, landslides, earthquakes, and tsunamis, these hazards are common causing significant damage to the country. The main objective of performing geotechnical studies for landslide occurrences are such follows investigating the main causes, triggering factors of landslides in the study area, evaluating the geological and geotechnical properties of soil/rocks in the landslide-affected area, analyzing slope stability of the affected areas and determining the factor of safety of the slopes using Plaxis and Slide v.6, to recommend possible remedial measures in order to minimize risks from a landslide in the area. Geotechnical investigation data shows that in the area occur mostly silty soils, it is also identified that there are several amounts of sandy, clay, and gravel type of material. The factor of safety calculation/computation from the slide v6.0 program was used as parameters for unit weight, friction angle, and cohesion. Under the first scenario of

natural/dry conditions, the factor of safety is 1.002 which is approximately equal to 1.00, and therefore the slope is not in a stable condition for a long period of time. The second scenario was analyzed under saturated and seismic conditions, where the groundwater was found at the 1.10-1.20m beneath the surface, and the 0.28 PGA value was used based on the earthquake intensity map generated by IPG geological hazard division, and the factor of safety value dropped to 0.931 which mean it is less than 1.00, and, therefore it is not stable. On the other hand, the factor of safety analysis using the Plaxis program, by using as parameters, dry soil weight, wet soil weight, horizontal permeability, vertical permeability, Young's modulus, Poisson's ratio, cohesion, friction angle, and the dilatancy angle, resulted in a factor of safety of 0.69, in which it means the slope is not stable hence the value is less than 1.5 standard of a factor of safety. In recommendation, it is necessary to design the slope, where after the slope mitigation the value of the

factor of safety increases to 1.613. There are several recommendations to be considered which include structural and non-structural measures, whereas need proper compaction for the filling material (consolidation), it is suggested to get the local material originating from the Bandeira limestone (massive calcilutite unit) or Wailuli limestone, to serve as the gravel material. It is also needed to get the sand material with less clay content for compaction along with the gravels from either Bandeira or Wailuli limestone. It is necessary to use bioengineering *Gmelina Arborea* (beechwood), and

vetiver grass. To have a well-constructed drainage with a systematic drainage pattern in order to accumulate all water from above catchment areas and dispose of them adequately to the stream, it is needed to have regular maintenance of the drainage. Construct a gabion wall, with 2m in its height, to protect the sliding mass from the upper or higher slope. Must be closely monitored by the relevant institution.

Acknowledgment: We are grateful to all of those with whom we have had the pleasure to work with. To the Dominican Sisters at Salau, Manatuto Municipality for their collaboration and cooperation during the fieldwork and data gathering. To our IPG colleagues from the Division of Geological Investigation for sharing with us the geological map available in our study area. Our special thanks, to the Management team of Instituto do Petróleo e Geologia (IPG), for their great contribution in terms of the accommodation and allowance during the fieldwork. This work was supported by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) in the framework of the Strategic Funding, with UIDB/00073/2020 project.

References

- Audley-Charles, M.G., (1968). The Geology of Portuguese Timor. Memoir of the Geological Society of London, 4.
- Audley-Charles, M.G., (2011). Tectonic post-collision processes in Timor. Geological Society of London, Special Publications, 355, 241-266 June 2011.
- Berry, R.F. (1979). Deformation and Metamorphism of the Aileu Formation, East Timor. School of Earth Sciences Flinders University of South Australia.
- Bieniawski Z. T. (1989) – Engineering Rock Mass classifications. Wiley. New York.
- Bieniawski, Z.T. (1976). Rock mass classification in rock engineering. Proc. Symp. Exploration for Rock Engineering. Johannesburg, South Africa. Balkema (Ed.), Rotterdam, vol.1, pp. 97-106.
- Bieniawski, Z.T. (1979). The Geomechanics Classification in rock engineering applications. Proc. of the Fourth Congress International on Rock Mechanics, Montreux, Canada. Balkema, Boston, 51-58.
- Duncan, J. M. (2000). Factors of safety and reliability in geotechnical engineering. J Geotech Geoenviron Eng, ASCE, 126(4):307–316, 2000.
- Lou Y. and Ming S.H. considering the Quantitative Effect of Antecedent Rainfall on Slope Stability to Predicting Rainfall-induced Shallow Landslide at the Basin Scale., Interpraevent, 2018. Toyama, Japan.
- Pierson. (1990). Rockfall Hazard Rating System Participant's Manual. US Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Romana, M. (1993) – A geomechanics classification for slopes: Slope Mass Rating. In
- Romana, M. (1996) – The SMR geomechanical classification for slopes: A critical ten years review. Proceedings of the Eighth International Conference and Field Trip on Landslides, Granada, Spain. Balkema (Ed.). Rotterdam, pp. 255-267.
- Vallejo & Ferrer. (2011). Geological Engineering. CRC Press.
- Vallejo, L.I.G., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002) – Ingeniería Geológica. Prentice Hall (Ed.). Madrid.

Desafios da prospeção geológica em terrenos vulcânicos nos Açores

Challenges of geological survey in volcanic terrains in the Azores

A. Trota (1,2)

- (1) Departamento de Geociências, FCT, Universidade dos Açores, antonio.pn.trota@uac.pt
 (2) Centro de Geociências, Universidade de Coimbra

Summary: *The terrain of the Azorean islands, soils, and rocks, are mostly of volcanic origin. The young age of the outcrops, often historic (from the 15th century onwards), combined with the different eruptive styles results in high diversity and morphological complexity and a wide range of geotechnical parameters of geological deposits. This reality must be incorporated into the geological and geotechnical prospecting plans aiming a sound geotechnical zoning, fundamental to the geotechnical project.*

Key words: *geotechnical, survey, volcanic terrains, Azores*

Palavras-chave: geotecnia, prospeção, terrenos vulcânicos, Açores

Os terrenos das ilhas açorianas, solos e rochas, são maioritariamente de origem vulcânica. A idade jovem dos afloramentos, frequentemente históricos (a partir do século XV), aliada aos diversos estilos eruptivos resulta em elevada diversidade e complexidade morfológica e de gama alargada nos parâmetros geotécnicos dos depósitos geológicos. Esta realidade tem de ser incorporada nos planos de prospeção geológica e geotécnica tendo em vista o adequado zonamento geotécnico dos terrenos, fundamental ao projeto geotécnico.

O conhecimento da génese dos depósitos é basilar para uma correta interpretação das zonas geotécnicas tendo em vista, entre outros aspetos, acautelar eventuais problemas em fase de obra. Os depósitos jovens, nomeadamente os piroclásticos de queda, apresentam-se frequentemente não consolidados, com elevada permeabilidade e de baixa resistência mecânica, com localização nos picos e zonas montanhosas (Fig. 1). Isto é, contrariamente aos terrenos do continente português, onde, por norma, as rochas mais resistentes de situam nas zonas mais altas, por serem mais resistentes aos agentes erosivos, nos Açores, a norma é que os terrenos das zonas cimeiras sejam de fraca resistência. O desconhecimento geológico desta realidade já conduziu a erros crassos no dimensionamento e na execução de fundações em antenas de telecomunicações.

De composição química similar, o ignimbrito soldado (rocha) e o ignimbrito não soldado, também designado por tufo (solo), visualmente são distintos e apresentam propriedades geotécnicas diferenciadas.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projeto UIDB/00073/2020.

Os ignimbritos resultam do fluxo de escoadas piroclásticas que resultam em solos ou rochas de acordo com as características composicionais e reológicas à altura do depósito, por vezes convivendo lado a lado, com variações de fácies difíceis de antecipar.



Fig. 1. Depósito piroclástico de natureza basáltica de elevada friabilidade. Cone de escórias, monogenético, na zona central da ilha de São Miguel, Açores.

Assim, para um bom zonamento geotécnico, é fundamental, sempre que possível, compreender a génese dos depósitos para que os elementos de prospeção geológica, fundamentalmente pontuais (e.g. poços e sondagens), sejam tridimensionalmente bem distribuídos tendo em vista a obtenção de informação geotécnica representativa da área em estudo.

Evaluation of the volcanic formations of Canary Islands as building stone

Avaliação das formações vulcânicas das ilhas Canárias como rocha ornamental

J.A. Valido (1), L.E. Hernández-Gutiérrez (2), J.M. Cáceres (3) and L. Sousa (4)

- (1) Department of Industrial Engineering, Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología, Universidad de La Laguna (España); jvalidog@ull.edu.es
- (2) Regional Ministry of Public Works, Government of Canary Islands, 38071 Santa Cruz de Tenerife, Canary Islands, Spain
- (3) Department of Industrial Engineering, Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología, Universidad de La Laguna (España)
- (4) Department of Geology and Pole of CGeo—Geosciences Center, University of Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000-801 Vila Real, Portugal

Sumário: A litologia das zonas vulcânicas dificulta a obtenção de blocos com dimensão que possibilite o seu aproveitamento como rocha ornamental. Com base na informação obtida em afloramentos apresentam-se os primeiros resultados de uma avaliação das potencialidades das unidades vulcanológicas das ilhas Canárias como rocha ornamental. Os resultados mostram uma grande variabilidade no grau de fraturação e na dimensão dos blocos que podem ser extraídos, apontando para a necessidade de realização de estudos de pormenor em zonas mais promissoras.

Palavras-chave: rocha ornamental, ilhas Canárias, fraturação, ordenamento do território

Key words: building stone, Canary Islands, fracturing, land planning

Since pristine time building stones are an important material for human societies. Despite the globalization allow literally the use of every stone everywhere, economic, social and environmental aspects are mandatory issues for a sustainable world. Therefore, the use of the local raw-materials should be promoted, including the building stones. Technical and scientific guidelines are important to promote the use of the local stones. In this work a preliminary assessment of the suitability of the volcanic formations from Canary Islands as building stone is presented, namely the degree of fracturing and block size, which are key-factors for a successful quarrying. Based on data from 133 observation sites, results of degree of fracturing at outcrop, including the direction and dip direction of the main joint sets and their mean spacing are presented. These data are also important for the assessment of the geotechnical stability when such formations are quarried.

Based on the data of joint spacing the volumetric joint count (Jv) proposed by ISRM (1978) can be estimated. Jv values should be higher than 2.0, considered as the threshold for obtaining blocks with the appropriate size (Sousa, 2010)

The results reflect the complex geology setting of the island (Hernández-Gutiérrez, 2014). In fact, the

results are very different according to the lithology and the thickness of the interested formations. In general, the joint sets are randomly distributed mainly as a consequence of the lava flow dynamics (Fig. 1). Furthermore, the low mean joint spacing depicts the low probability of extracted large blocks (Fig. 2). The high number of joint sets in the studied places (only 22 places show less than 3 joint sets) turns difficult to obtain blocks with cubic or parallelepiped shapes (Fig. 2). Based on these data none of the places have a value of volumetric joint count (Jv) lower than 2.0. Therefore, detailed studies should be done only where the best geological conditions are recognized. As example, several varieties of welded ignimbrites are quarried in Canary Islands as building material (Valido et al., 2023).

Geological and geotechnical information should also be considered when during the land planning of a region. In fact, building stones only can be exploited where the outcrops have the necessary technical requirements. The use of local building materials is an important input for the overall sustainability, developing the local economy and avoiding the environmental cost associated to the international trade. The geological materials are also part of local nature and societies, and should be wisely used and protected.

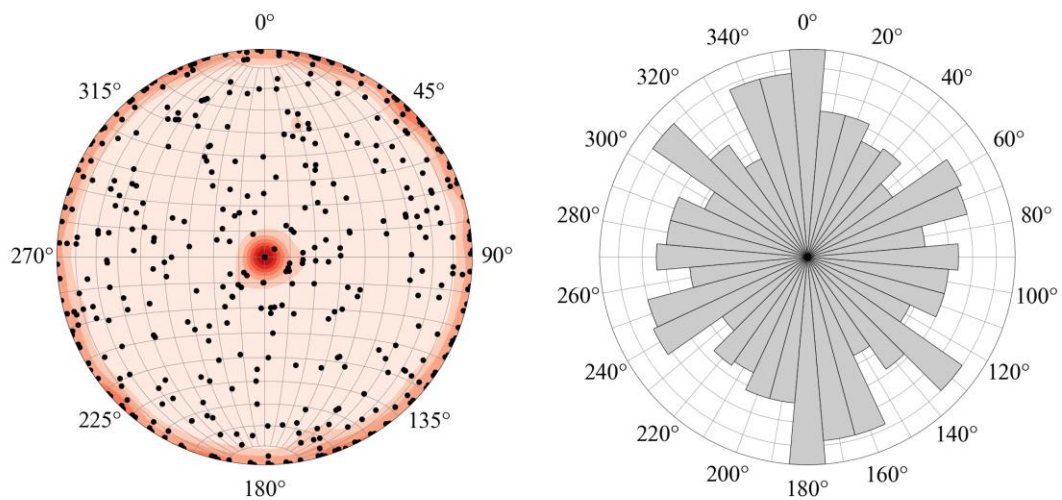


Fig. 1. Joint sets identified in the observation sites.

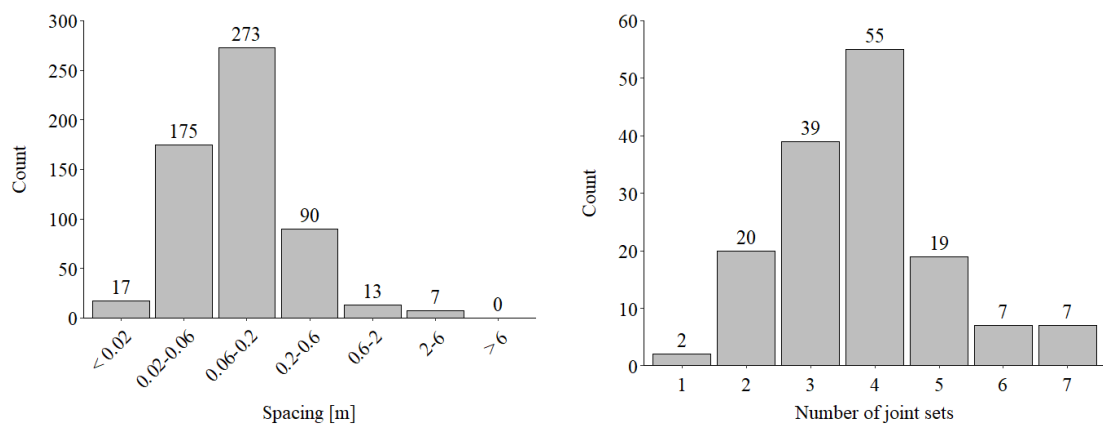


Fig. 2. Values of mean joint spacing and number of joint sets in the observation sites.

Acknowledgments: This study was supported by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia in the frame of the UIDB/00073/2020 and UIDP/00073/2020 projects of the I&D unit Geosciences Center (CGEO).

References

- Hernández-Gutiérrez, L.E. (2014). Caracterización Geomecánica de las Rocas Volcánicas de las Islas Canarias. Tesis Doctoral de la Universidad de La Laguna. 296 p.
- Valido, J.A., Cáceres, J.M., Sousa, L. (2023). A characterisation study of ignimbrites of Tenerife Island employed as building stone. Submitted to Environmental Earth Sciences (under review).
- ISRM (1978). Suggested methods for the quantitative description in rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts 15 (6), 319–368.
- Sousa, L.M.O. (2010). Evaluation of joints in granitic outcrops for dimension stone exploitation. Q J Eng Geol Hydrogeol 43:85–94.

Informação geotécnica de Leiria em SIG – Contributo para o desenvolvimento sustentável

Geotechnical information of Leiria in GIS – Contribution to sustainable development

A. Veiga (1,3), S. Areia (2) e J. Veludo (1)

- (1) Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Politécnico de Leiria anabela.veiga@ipleiria.pt
- (2) Câmara Municipal de Leiria
- (3) Centro de Geociências da Universidade de Coimbra

Summary: *In urban areas, construction and rehabilitation has required the carrying out of numerous geotechnical survey works, particularly in soils geologically and geotechnically less favourable to occupation. This work presents the compilation and organisation of the information collected in geological-geotechnical reports, in Leiria, contributing to some of the Sustainable Development Goals.*

Key words: *Geological-geotechnical reports, GIS, SDG*

Palavras-chave: relatórios geológico-geotécnicos, SIG, ODS

Introdução

O concelho de Leiria apresenta uma grande diversidade de formações geológicas que apresentam grande variabilidade de características geotécnicas condicionando a ocupação à superfície e exigindo grande cuidado com a seleção, projeto e execução de obras, nestes terrenos, face às exigências dos novos Eurocódigos estruturais (7 e 8). Para dar resposta a estas questões torna-se imprescindível melhorar o conhecimento geotécnico das formações geológicas existentes. Com este objetivo têm sido realizados inúmeros trabalhos de prospeção geológica e geotécnica, em particular no espaço urbano, encomendados pelo Município e por particulares no âmbito de novas construções.

Apresenta-se o trabalho realizado de compilação e distribuição geográfica da informação obtida a partir de 43 relatórios geológicos e geotécnicos pertencentes ao Município, a sua integração no Sistema de Informação Geográfica (SIG) da Câmara Municipal de Leiria contribuindo para a segurança e sustentabilidade das obras no espaço urbano indo ao encontro de alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Enquadramento geológico e condicionantes geotécnicas

A região de Leiria apresenta uma grande variedade de unidades geológicas, de idade Ceno-mesozoica, e consequentemente uma grande variedade de litologias e de comportamentos geotécnicos. Afloram à superfície formações sedimentares que vão desde calcários, mais ou menos margosos, até areias soltas, passando por argilas sobreconsolidadas e arenitos cimentados e também rochas magmáticas, de um modo geral muito fraturadas e com elevado grau de

alteração constituindo solos mais ou menos arenosos, mas com argilas altamente plásticas. Grande parte da cidade de Leiria está instalada sobre um diapiro, cujo núcleo é constituído por argilas sobreconsolidadas, por vezes com gesso e halite (minerais solúveis), sendo os limites por falha que o põem em contacto com formações calcárias. O diapiro é intercetado por dois rios, sendo as suas margens constituídas por materiais aluvionares, cuja granulometria aumenta da superfície para a base, e vai desde argilas a cascalheiras numa espessura inferior a 13,5m (Veiga, 2012).

A informação proveniente dos relatórios

A informação existente nos relatórios geológicos e geotécnicos, enquadra-se no exigido pelos Eurocódigos, em particular do Eurocódigo 7 (NP EN 1997,2010), que define as regras gerais para a caracterização geológica e geotécnica dos terrenos e para o dimensionamento de obras geotécnicas. Assim, a maior parte da informação contida nos relatórios geológico-geotécnicos é relativa aos resultados de ensaios de campo (predominando os Ensaios de Penetração Dinâmica, SPT), no entanto, alguns relatórios apresentam também resultados de ensaios laboratoriais, realizados sobre amostras colhidas durante a execução dos ensaios de campo ou abertura de poços propositadamente para a amostragem que permitem obter os parâmetros geotécnicos fundamentais para o dimensionamento de fundações.

Na Fig. 1 apresenta-se o resumo da distribuição da investigação in situ contida nos relatórios. De notar que nos 288 furos de sondagem foram realizados 2009 SPT com profundidade máxima de 37,7m.

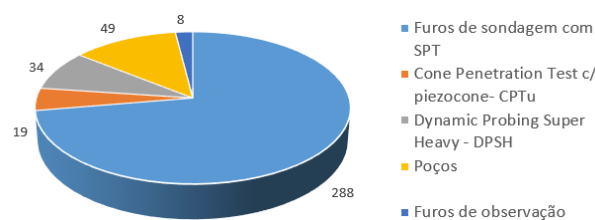


Fig. 1. Resumo da investigação in situ obtida a partir dos relatórios analisados. Adaptado de Areia, 2022.

Dos 43 relatórios, 22 correspondem a obras na cidade de Leiria. Os ensaios de CPTu foram realizados nos terrenos aluvionares do rio Liz e na formação subjacente (Formação da Dagorda). A maioria dos ensaios DPSH foram realizados em terrenos para construção ou reabilitação de vias de comunicação.

O SIG

Uma vez compilada a informação foi atribuído um código de identificação (ID) a cada um dos relatórios e ordenados temporalmente. Cada ID foi subdividido em função do número de ensaios nele apresentados (por exemplo, no relatório ID3_2021, apresentam-se 5 furos com ensaios SPT, nesse sentido ao ID3_2021, correspondem 5 pontos com a designação ID3_2021_1, até ID3_2021_5), (Areia, 2022). De seguida foi construída uma folha de cálculo com todas as informações relevantes para cada ponto, assim como, a sua georreferenciação. Esta folha de cálculo serviu de bases de dados para a implementação no SIG. O objetivo é o de disponibilizar a informação no Site do Município a todos os interessados, e, uma vez aperfeiçoada a sua apresentação, poder contribuir para a construção de uma carta geotécnica da cidade de Leiria. Na Fig. 2 apresenta-se uma das consultas possíveis de fazer no SIG.

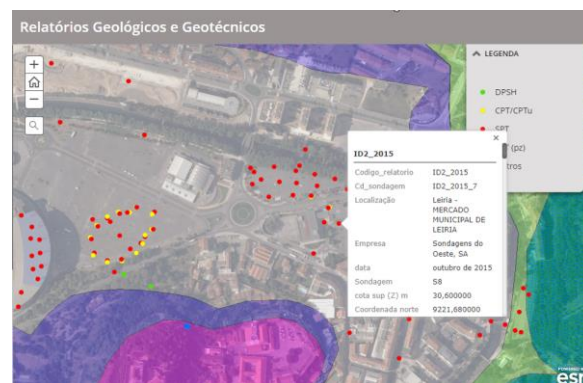


Fig. 2. Consulta de uma sondagem pertencente ao relatório com o código ID2_2015, com visualização de informação relativa a ensaios laboratoriais.

Conclusões

Este trabalho pretendeu compilar informação muito dispersa, colocá-la num modelo que facilite a sua consulta. Pretende-se que os resultados deste trabalho contribuam para a tomada de decisão no planeamento de novos trabalhos geológico-geotécnicos, na definição de soluções estruturais mais adequadas, no planeamento e ordenamento do território, identificando áreas mais aptas à construção ou avaliando geomateriais existentes para a sua posterior utilização, contribuindo para a preservação de recursos naturais.

A disponibilização organizada da informação geológica e geotécnica é um contributo para o desenvolvimento sustentável. Este trabalho coopera para o ODS 11, relativo às Cidades e Comunidades Sustentáveis no sentido de tornar as cidades e comunidades mais seguras, mais resilientes e mais sustentáveis; para o ODS 12 (Produção e Consumo Sustentável) contribuindo para a meta do alcançar da gestão sustentável e uso eficiente dos recursos naturais; para o ODS 15 (Proteger a Vida Terrestre) contribuindo para reduzir a degradação do solo ao definir zonas não aptas à construção permite assegurar quer recursos naturais para o futuro, quer proteger ecossistemas.

Agradecimentos: Agradece-se à CML a disponibilização dos relatórios geológicos e geotécnicos e do seu SIG. Este estudo foi apoiado por fundos portugueses da FCT, I.P. (Portugal) no quadro dos projetos UIDB/00073/2020 e UIDP/0007372020 da unidade de I&D do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

Referências

- Areia, S. (2022). *Cartografia Geológica e Geotécnica dos solos da cidade de Leiria*. Leiria: Dissertação de Mestrado, Politécnico de Leiria.
- Veiga, A. (2012). *Caracterização geotécnica dos terrenos do vale tifónico Parceiros-Leiria*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- NP EN 1997-1:2010, Eurocódigo 7: Projecto geotécnico. Parte 1: Regras gerais, Termo de Homologação nº 52/2010, de 11 de março, Instituto Português da Qualidade.
- NP EN 1997-2:2010, Eurocódigo 7: Projecto geotécnico. Parte 2: Projeto assistido por ensaios, Termo de Homologação nº 199/2006, de 7 de dezembro, Instituto Português da Qualidade.

SESSÃO CIENTÍFICA 15 (SC_15)
(Modelação e Geomatématica)

Conveners: José António Almeidas; Pedro Pina; Rui Taborda

Caracterização mineralógica e geoquímica de solos superficiais e escombrelas coletados na zona mineira Preguiça-Vila Ruiva

Characterising the mineralogy and geochemistry of surface earth-materials collected from the Preguiça-Vila Ruiva mining area

Ó. Costa (1), P. Marinho Reis (1), P. Nogueira (2), A. Kumoleha (1) e P. Pimenta Simões (1)

- (1) Universidade do Minho, Instituto de Ciências da Terra, Polo Minho, Campus de Gualtar 4710-057 Braga, oscarfilipeandre@gmail.com, pmarinho@dct.uminho.pt, delcio.ak70@gmail.com, pimenta@dct.uminho.pt
(2) Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra, Polo de Évora, Apartado 94 7000 Évora, pmn@uevora.pt

Summary: *The mines of Preguiça and Vila Ruiva are located in the Ossa Morena Zone in the Moura-Ficalho region. They are examples of different types of Zn-Pb(-Ag-Sb-Au) mineralization that occur in the region. Both deposits are in the Serra da Preguiça in the district of Beja and were exploited for Fe-Zn-Pb in the early and mid-20th century. The work's main objective is to reevaluate these mines' mining potential using a combination of petrography, x-ray diffraction, geostatistics and GIS. Results show that the enclosing rocks of the Preguiça and Vila Ruiva deposits can be classified as metadolomies, although samples from Vila Ruiva appear to have undergone more intense deformation. The geochemical mapping indicates that Zn, Pb, and Fe are concentrated in the mine tailings, and show differences in their spatial variation. A few anomalies in Fe, Co, Cr, and V, showing a NE-SW orientation, were also detected in the soil around the Preguiça mine. However, additional data are critical to fully understand the geochemical processes occurring at the surface of these old mining areas.*

Key words: *Zn-Pb mineralization, Preguiça-Vila Ruiva mine area, metadolomies, gossan, geochemical mapping*

Palavras-chave: mineralizações Zn-Pb, zona mineira Preguiça-Vila Ruiva, metadolomias, gossan, cartografia geoquímica

As minas da Preguiça e Vila Ruiva estão situadas na Zona Ossa Morena, na região Moura-Ficalho, onde ocorrem diferentes mineralizações do tipo Zn-Pb(-Ag-Sb-Au). Ambos os depósitos foram explorados para Fe-Zn-Pb no início e meados do século XX.

Os depósitos (explorados) da Preguiça e Vila Ruiva correspondem a minérios secundários, muito ricos em zinco (Zn), encaixados em metadolomias do Câmbrio Inferior, que foram formados por intensos processos de enriquecimento supergênico e oxidação in situ dos sulfuretos primários. (Tornos et al., 2004). O principal objetivo deste trabalho consiste numa reavaliação do potencial mineiro destas minas. Numa primeira fase, foi efetuada uma caracterização petrográfica do encaixante e uma caracterização mineralógica por difração de raios-X (DRX) dos gossans, encaixante e solos da zona mineira Preguiça-Vila Ruiva. Numa segunda fase, efetuou-se uma caracterização geoquímica dos materiais superficiais (solos e escombrelas) utilizando dados de concentração de Zn, Pb, Fe, V, Mn, Co, Cr, Cu, Ni, As, Se, Cd e Sb, medidos por fluorescência de raios-X portátil. Para a identificação dos padrões de variação

espacial recorreu-se a técnicas de geoestatística e SIG (Marinho Reis et al., 2016)

O estudo petrográfico confirmou que as rochas encaixantes da mina da Preguiça consistem em metadolomias, sendo que nas amostras da Vila Ruiva a distinção entre metadolomias e metacalcários dolomíticos é mais difícil devido ao aspeto mais homogéneo dos carbonatos. As características texturais das amostras do encaixante de Vila Ruiva sugerem que estas rochas sofreram uma deformação mais intensa, em comparação com as rochas da Preguiça.

Na análise por DRX observou-se que o encaixante de Vila Ruiva apresenta uma fração dolomítica dominante ($\geq 81\%$), superior à da Preguiça, sendo, por isso, possível assumir que grande parte dos carbonatos observados no estudo petrográfico das amostras da Vila Ruiva correspondam a dolomite. Este resultado permitiu classificar o encaixante deste depósito como metadolomias. As amostras de gossan estudadas por DRX indiciam um gossan mais rico em óxidos de Fe em Vila Ruiva comparando com a Preguiça, a qual contém frações importantes de

minerais zincíferos, quartzo e sulfatos de Pb. Os dados da geoquímica dos solos mostram que os solos da Vila Ruiva apresentam uma menor concentração de minerais de Zn do que os da Preguiça, mas são mais enriquecidos em óxidos de Fe, nomeadamente hematite.

Os padrões de variação espacial indicam que Zn (Fig. 1) e Pb se concentram nas escombrelas e cortas das minas, ou seja, nos locais de maior influência antropogénica. No entanto, o Zn apresenta alguma dispersão lateral, provavelmente devido à sua maior mobilidade em ambientes oxidantes ácidos, enquanto o Pb se restringe às áreas de escombrelas e cortas devido à sua fraca mobilidade. No mapa geoquímico do Fe identificam-se anomalias a N e NE da corta da Preguiça, onde ocorrem afloramentos de vulcanitos intermédio-ácidos, anomalias estas também com expressão importante nos elementos Co, Cr e V. Assim, estas anomalias são interpretadas como tendo um carácter geogénico, uma vez que parecem indicar vulcanitos ácidos de composições mais intermédias.

Seria interessante como trabalhos futuros a análise petrográfica de mais lâminas delgadas relativas ao encaixante da Preguiça e Vila Ruiva de forma a perceber as diferenças texturais e confirmar a possibilidade de as metadolomias da Vila Ruiva apresentarem evidências deformacionais mais intensas. Na análise por DRX, um maior número de amostras permitiria conhecer melhor a evolução dos gossans e a variabilidade mineralógica dos solos e do encaixante. Na cartografia geoquímica seria necessário, essencialmente, a realização de mais pontos de medição, principalmente na zona entre as minas, que permitam elaborar modelos de variação espacial mais robustos. A identificação de uma variação espacial de alta resolução para toda a área, será fundamental para explicar de forma mais cabal as anomalias encontradas.

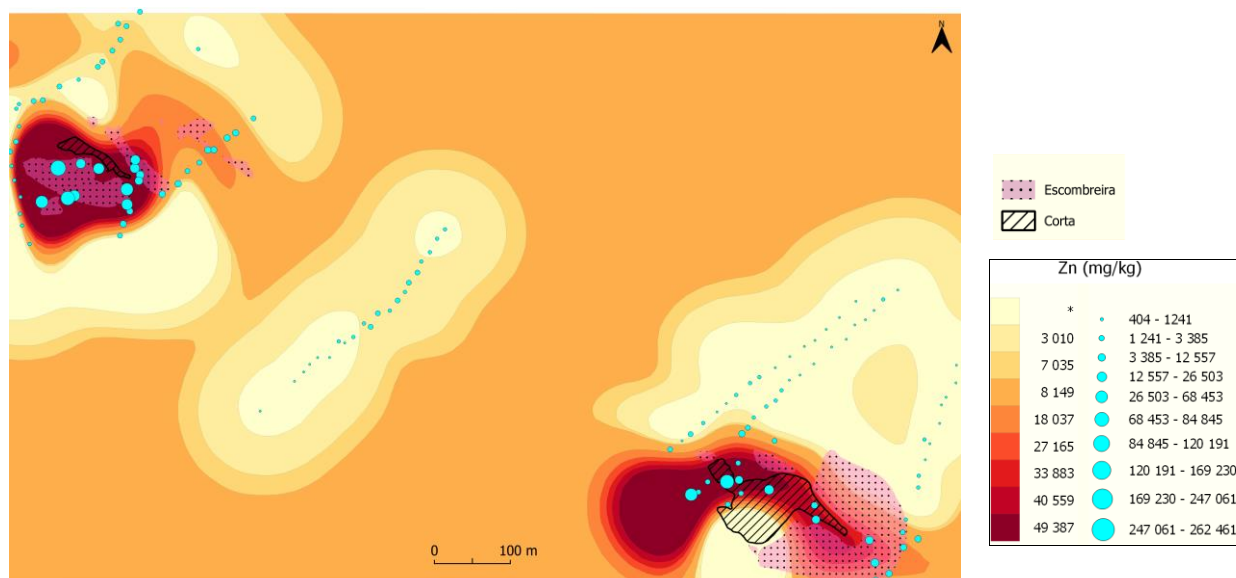


Fig. 1. - Mapa geoquímico do Zn, obtido por krigagem ordinária.

Agradecimentos: Este trabalho é financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do ICT, referências UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Tornos, F., Inverno, C. M., Casquet, C., Mateus, A., Ortiz, G., & Oliveira, V. (2004). The metallogenic evolution of the Ossa-Morena Zone
- Marinho Reis AP, Shepherd T, Nowell G, Cachada A, Duarte AC, Cave M, Wragg J, Patinha C, Dias A, Rocha F, da Silva EF, Sousa AJ, Prazeres C, Batista MJ. Source and pathway analysis of lead and polycyclic aromatic hydrocarbons in Lisbon urban soils. *Sci Total Environ.* 2016 Dec 15;573:324-336. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.119.

Contributos da Análise Correspondências como metodologia para a seleção de casos de estudo na avaliação da degradação ambiental de áreas mineiras abandonadas

Contributions of the Correspondences Analysis as a methodology for the selection of case studies in the evaluation of the environmental degradation of abandoned mining areas

B. Fonseca (1), J. Góis (2), A. Guerner Dias (3) e H. Garcia Pereira (4)

- (1) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (CERENA-FEUP), Porto, Portugal. barbarardafonseca@gmail.com
- (2) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (CERENA-FEUP), Porto, Portugal.
- (3) Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- (4) mInstituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa (CERENA-IST), Lisboa, Portugal.

Summary: *The massive neglect of abandoned mining areas in the last century has been arousing the scientific community's interest due to the possible representation of environmental problems, which made it necessary to implement methodologies capable of identifying representative cases of the target areas of study. The application of the correspondence analysis allowed the verification of similarities between the areas under study and, in this way, the representative selection of the different case studies. For this work, with the application of this methodology, it was possible to identify the need to select 7 case studies, which will be representative of the main groups referring to the study of the environmental degradation of abandoned mining areas, in Portugal, inserted in the Tin-Tungstiferous Iberian Metalogenetic Province.*

Keywords: *abandoned mining areas, correspondence analysis, environmental degradation, multivariate statistics, wolframium*

Palavras-chave: áreas mineiras abandonadas, análise fatorial das correspondências binárias, degradação ambiental, estatística multivariada, volfrâmio

Introdução

As áreas mineiras abandonadas são definidas como áreas, influenciadas por antigas instalações mineiras desativadas, que constituem um fator de risco para a saúde humana ou para a preservação do ambiente que justifique a intervenção do estado (DR n.º 155/2001). Estas áreas têm despertado o interesse da comunidade científica, uma vez podem representar sérios problemas ambientais, dado serem fontes de elementos potencialmente tóxicos (EPT). Os EPT são contaminantes inorgânicos não degradáveis, com capacidade de desencadear impactos nas diversas áreas do ecossistema.

Este trabalho teve por objetivo implementar uma metodologia para a seleção de casos de estudo na avaliação da degradação ambiental de áreas mineiras abandonadas inseridas na Província Ibérica Metalogenética Estano-Tungstífera (PIMET). A abordagem preconizada baseou-se na Análise Fatorial das Correspondências Binárias (AFCB). A utilização da AFCB permitiu encontrar "cluster" de explorações mineiras, que à luz das variáveis geológicas consideradas, exibem similaridades entre elas e desta forma a seleção representativa dos diferentes casos de estudo.

Área de Estudo

A PIMET localiza-se numa área que se estende desde a Galiza até ao Norte de Portugal e Oeste de Espanha, sendo limitada a Sul, pela falha Porto-Tomar-Badajoz-Córdoba (Noronha, 2006). Este estudo foi realizado apenas em território português (Fig. 1).



Fig. 1. Mapa Geológico de Portugal, à escala 1:1000000, PIMET (em Portugal) circunscrita a azul.

Materiais e Métodos

A informação relativamente às áreas mineiras abandonadas portuguesas na PIMET foi retirada do LNEG, com recurso ao SIORMINP. Nesta base de dados escolheram-se como critérios identificadores de seleção para cada mina as variáveis: génese, a descrição geológica e a mineralogia principal associada.

Foi assim criada uma matriz de dados de partida com 3 variáveis (subdivididas em 16 modalidades) e 384 indivíduos (leia-se 384 explorações mineiras).

A opção pela análise estatística multivariada, em particular a utilização da AFCB, deve-se ao facto desta metodologia permitir a redução da dimensionalidade do espaço inicial da informação, concentrando as estruturas inter-relacionais mais importantes entre as diferentes variáveis e indivíduos (Hair et al., 2018).

A aplicação da AFCB passou pela tradicional construção de tabelas disjuntivas completas (Fig. 2) nas quais, para cada variável, subdividida nas respetivas modalidades, cada indivíduo é assinalado com “1” se ocorre numa determinada modalidade ou “0” na sua ausência (classificação dicotómica que permite a atribuição de uma mesma métrica às variáveis).

Variável	Génese			Descrição Geológica			Mineralogia Principal		
	Hipo	...	HiSe	FQt	...	PegS	Sn-W	...	Poli
M1	1	...	0	1	...	0	1	...	0
M2	1	...	0	1	...	0	1	...	0
M3	0	...	0	0	...	0	0	...	0
...
M382	1	...	0	1	...	0	1	...	0
M383	0	...	0	0	...	0	1	...	0
M384	1	...	0	1	...	0	0	...	0

Fig. 2. Matriz disjuntiva completa, informação inicial de input ao software Andad (AFCB)

Apresentação e discussão dos resultados

A fig. 3 permite a análise das projeções das modalidades nos planos fatoriais e a consideração das respetivas contribuições absolutas na construção dos eixos.

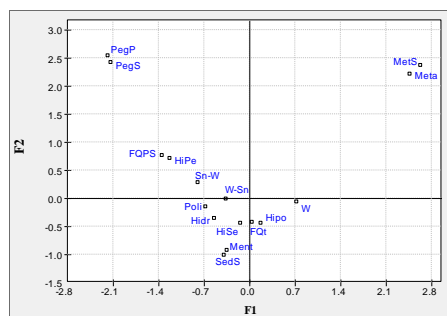


Fig. 3 – Projeção das modalidades no plano fatorial F1, F2.

A modalidade da variável génese (MetS – génese metamórfica e metassomática), da variável descrição geológica (Meta - mineralização em rochas

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base - UIDB/04028/2020 e Financiamento Programático - UIDP/04028/2020 da Unidade de Investigação - Centro de Recursos Naturais e Ambiente - CERENA - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Referências

- Diário da República n.º 155/2001, 1º Suplemento, Série I-A de 2001-07-06, páginas 2 - 7. (2001).
- Hair, J., Black, W., Anderson, R., & Babin, B. (2018). Multivariate data analysis (8, ilustra ed.). Cengage Learning EMEA, 27(6), 1951-1980.
- Noronha, F. (2006). Especialização metalogenética das rochas graníticas da ZCI. VII Congresso Nacional de Geologia.

metamorfizadas) e da variável mineralogia principal (W- mineralização principal em tungsténio) projetam-se em associação positiva no semieixo positivo F1, indiciando uma correlação positiva entre as diferentes modalidades. Em oposição a este primeiro grupo de modalidades projetam-se no semieixo negativo F1 as modalidades da variáveis génese (PegP- génese pegmatítica e pneumatolítica) e da variável descrição geológica (PegS - mineralização em filões pegmatíticos).

Estes dois grupos, que contribuem para a construção do primeiro eixo fatorial, identificam tipologias de explorações mineiras que em fases posteriores da aplicação da AFCB, nas quais são projetados os indivíduos nos mesmos eixos fatoriais, permitirão a seleção de casos de estudo de explorações mineiras com as mesma características. Desta forma conseguir-se-á uma mais efetiva representatividade no estudo e avaliação da degradação ambiental das diferentes áreas mineiras abandonadas. Na tabela 1 encontram-se sintetizadas as estruturas relacionais entre as diferentes modalidades projetadas nos diferentes semieixos fatoriais.

Tabela 1 - Projeção das modalidades nos diferentes eixos fatoriais.

Eixo Fatorial	Modalidades	
	Semieixo +	Semieixo -
F1	MetS, Meta, W	PegP, PegS
F2	MetS, PegP, PegS, Meta	Hipo, FQt
F3	SedS, Ment	-
F4	PegP, PegS	HiPe, FQPS
F5	-	Hidr, Poli
F6	HiSe, Sn-W	Hipo, W-Sn

A análise aos resultados da AFCB estendeu-se a vários eixos fatoriais por forma a obter-se uma identificação exaustiva e representativa das diferentes situações de degradação ambiental.

Conclusões

A metodologia adotada permitiu identificar 7 agrupamentos representativos, obtidos pela AFCB, que, de alguma forma, tipificam e individualizam diferentes situações no que diz respeito à degradação ambiental de áreas mineiras abandonadas, tendo assim sido estabelecida a necessidade de selecionar um caso de estudo para cada agrupamento.

Modelação geológica 3D no âmbito de projetos de engenharia geoambiental em meio urbano

3D geological modelling within the scope of geoenvironmental engineering projects in an urban environment

I. Napoleão (1), G. Brito (2) e E. Zungailia (3)

(1) FCT-NOVA, Monte Caparica, Portugal

(2) GeoBioTec – Pólo NOVA, Monte Caparica, Portugal, mgb@fct.unl.pt

(3) EDZ Environmental Consulting, Lda

Summary: For the risk assessment of a contaminated site, it is necessary to adopt a conceptual risk model that simultaneously considers the existence of the following three entities: source – path – target. The transport and mobility of pollutants in the medium is strongly conditioned by the physical and geochemical properties of the geological medium, therefore its adequate characterization is fundamental. This work presents a three-dimensional (3D) geomorphological model of the lithostratigraphic units of a terrain, which acts simultaneously as a primary receptor and as a path or transmitter medium, of a potential contamination source, within the scope of a study for the environmental requalification of a site in an urban-industrial environment. The model was created using the 3D modeling software Leapfrog and was based on data from 63 drillings carried out within the scope of geotechnical and geoenvironmental studies at the site.

Key words: 3D geological modelling, implicit modelling; urban rehabilitation, geoenvironmental engineering

Palavras-chave: modelação geológica 3D, modelação implícita; reconversão urbanística, engenharia geoambiental

Introdução

Neste trabalho apresenta-se um modelo geológico tridimensional (3D) das unidades litoestratigráficas de um lote de terreno sobre o qual foram depositados materiais de aterro resultante de atividades industriais desenvolvidas no passado.

O modelo foi realizado com recurso ao *software* de modelação 3D *Leapfrog* (LeapfrogGeo, 2020) e teve por base dados de 63 sondagens realizadas no âmbito de estudos geotécnicos e geoambientais no local. Este modelo poderá funcionar como modelo conceptual de contaminação e risco (Petts et al., 1997) em estudos que envolvam a avaliação do estado de qualidade dos solos e águas no âmbito de projetos de reconversão urbanística e ambiental do local.

A modelação geológica tridimensional permite adicionalmente estimar o volume de solos (e/ou outros materiais de aterro) da zona saturada e não saturada dos terrenos, informação útil a considerar em projetos de engenharia que envolvam trabalhos de escavação dos terrenos.

Metodologia

A modelação tridimensional das unidades litoestratigráficas contemplou as seguintes etapas:

Etapa1 – interpretação dos Registos litológicos das sondagens (*Logs*) e preparação dos dados para integração em modelos digitais (SIG e *Leapfrog*)

Etapa 2 – Integração dos dados num SIG e interpretação geoespacial da informação

Etapa 3 – Modelação implícita (Sequence, 2020) das superfícies litoestratigráficas, através de um algoritmo *Radial Basis Function*, implementado no *software Leapfrog* (Leapfrog, 2020; Bertolani et al., 2020; Hiller et al., 2014).

Nas figuras seguintes apresenta-se o modelo Geológico 3D obtido para os limites da área de estudo (AE) (Fig. 1) e a ilustração dos materiais litológicos e de aterro, nas zonas não saturada e saturada do terreno (Fig.2).

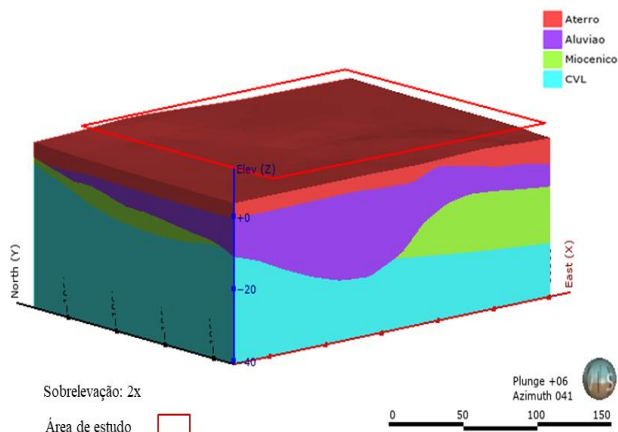


Fig. 1.- Modelo geológico 3D das camadas litoestratigráficas nos limites definidos para a AE

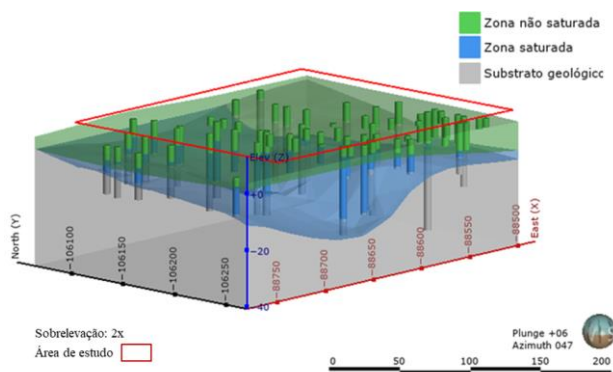


Fig. 2.- Modelo 3D das zonas saturada e não saturada nos limites definidos para a AE

Na tabela I apresentam-se os respetivos volumes de materiais estimados, para a zona não saturada e saturada do meio.

Tabela I - Volumes estimados de materiais acima e abaixo da superfície do nível freático.

Camadas litoestrati.	Modelo NF (RBF)	Volume (m ³)	Proporção (%)
Aterro	Zona não saturada	110 346	92
	Zona saturada	10 160	8
	Total	120 506	
Aluvião	Zona não saturada	26 514	75
	Zona saturada	9 050	25
	Total	35 564	
Total	Zona não saturada	136 860	88
	Zona saturada	19 210	12
Total	Total	156 070	

Pela leitura da tabela pode referir-se que: cerca de 88% do total do terreno (aterro e aluvião) se encontra acima do nível freático, o que facilitará eventuais operações de escavação dos terrenos, no âmbito de uma operação urbanística.

Conclusões

A modelação implícita tridimensional de terrenos na apresenta-se como sendo uma ferramenta crucial no planeamento e gestão de obra geotécnica e geoambiental, em particular quando as operações envolvem a escavação dos terrenos. Este tipo de modelos geológicos 3D podem ser utilizados para a delimitação morfológica e estimação de volumes de solo, eventualmente contaminado.

Agradecimentos: Os autores agradecem à empresa Períptero – *Empreendimentos Imobiliários, S.A.* a disponibilização dos dados e à empresa *EDZ Environmental Consulting, Lda*, a oportunidade de trabalhar o tema.

Referências

- Bertolani, M. N., Loeffler, C. F., Menandro, F. M., bulcão, A., (2010). Desempenho de funções de base radial de suporte compacto na construção de superfícies bidimensionais.
- Hillier M. J., Schetselaar, E. M. de Kemp, E. A., Perron, G. (2014). Three-Dimensional modelling of geological surfaces using generalized interpolation with Radial Basis Functions. *Math Geosci*, 46, pp. 931–953.
- LeapfrogGeo (2020). User Manual for Leapfrog Geo Version 5.1. Seequent Limited.
- Petts, J., Cairney, T. & Smith, M. (1997). *Risk-Based Contaminated Land Investigation and Assessment*. John Wiley & Sons, New York, 334 p.
- Sequence (2020). What is Implicit Modelling? Sequence limited. <https://help.seequent.com/Geo/4.3/en-GB/Content/implicit-modelling.htm>.

Utilização de imagens de alta resolução para classificação de rocha ornamental carbonatada

Use of high-resolution images for classification of carbonated ornamental rock

M. Pereira (1), J. Duarte (2) e L. Catarino (3)

- (1) Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, mjoao1999@hotmail.com
(2) IQGeo/ Centro de Geociências da Universidade de Coimbra
(3) Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra

Summary: *This paper presents a methodology applied to remote sensing images using Semi-Automatic Classification techniques as tools to support the geological identification, characterization, and classification of quarries raw material. The methodology is illustrated for the area of two quarries, located in the municipality of Ourém, parish of Fátima, more precisely in Valinho de Fátima, in two companies of limestone blocks extraction industry for ornamental purposes, the company Eduardo Marques & Rosa and Ovelheiro & Filhos Lda. For the application of these techniques, an unmanned aerial vehicle (UAV) was used for the aerophotographic survey of the quarries. For the creation of the 2D and 3D models, the Agisoft Metashape program was used and the QGIS program was used for the thematic classification. The results with relevance are discussed and a characterization of the classified models was also performed.*

Key words: *Quarry, remote sensing, semi-automatic classification, UAV, orthophotomap*

Palavras-chave: *Pedreira, deteção remota, classificação semi-automática, VANT, ortofotomapa*

Com este artigo pretende-se contribuir com uma metodologia de aplicação de tecnologias que integre dados de prospeção geológica de campo e deteção remota, levando a uma distinção de características dos tipos litológicos aflorantes, que facilitem a identificação de locais com aptidão para extração de rocha ornamental. A metodologia é ilustrada para a área de duas pedreiras, localizadas no Concelho de Ourém, freguesia de Fátima, mais precisamente no Valinho de Fátima, em duas empresas de indústria extrativa de blocos calcários com finalidades ornamentais, a empresa Eduardo Marques & Rosa e Ovelheiro & Filhos Lda. Para isso, efetuou-se a aplicação do método fotogramétrico em zonas de pedreira e posterior classificação do material existente, com base nas características da rocha captadas nas fotografias obtidas com recurso a veículos aéreos não tripulados (VANT) e com a aplicação da classificação semi-automática, de maneira a validar a cartografia geológica à escala local da área em estudo, que levem à otimização do processo de exploração (Pereira, 2022). Recorreu-se à utilização dos VANT's, por permitirem efetuar o mapeamento da área em tempo reduzido, gerando dados com alta resolução (na ordem dos centímetros). Para o levantamento aerofotográfico utilizou-se o VANT, modelo *DJI Phantom 4* equipado com uma câmara FC330, cujas imagens geradas possuem uma dimensão de 4000x3000 *píxeis*, sendo que a porção do espectro eletromagnético que o sensor ótico acoplado neste equipamento consegue discriminar, limita-se às faixas espectrais do visível, denominado por campo RGB.

Efetuuou-se a calibração da câmara do VANT e de seguida o planeamento dos voos com recurso a duas aplicações, nomeadamente a *DJI GO* e a *Drone Deploy*. Para realizar a classificação da área de estudo, procedeu-se, primeiramente, à realização de vários modelos fotogramétricos a partir das fotografias coletadas com o VANT, obtidas em dias e horas diferentes, e sob diferentes condições atmosféricas, de maneira a observar quais as alterações provocadas na criação dos modelos 2D e 3D, com o programa informático *Agisoft Metashape Professional Edition*. Após a realização dos modelos fotogramétricos, seguiu-se o mapeamento das unidades, recorrendo para isso à classificação semi-automática assistida ou classificação supervisionada (*Semi-Automatic Classification*) que permite um rápido mapeamento temático superficial, em ambiente *QGIS* (Sekerketin *et al.*, 2017; Ge *et al.*, 2018), a partir das assinaturas espectrais da superfície das unidades litológicas, tendo em conta o desenvolvimento horizontal e vertical destas unidades. Uma vez elaborados e exportados os ortofotomapas criados das áreas correspondentes às pedreiras EM&R e Lagoa nº 6720, no programa *Agisoft Metashape*, recorreu-se à utilização do programa *QGIS*, que permitiu a realização da classificação supervisionada com o plugin SCP, utilizando técnicas de interpretação visual de imagem (Fig. 1). Optou-se pela utilização do algoritmo *Minimum Distance*. O processo de classificação supervisionada exige que o utilizador defina regiões de interesse (Regions of Interest - ROI's) ou áreas de treino, para cada classe de cobertura

terrestre identificada na imagem. Com base na experiência adquirida, reconheceu-se que é imprescindível um conhecimento prévio da área analisada, uma vez que a definição dessas regiões é efetuada em locais onde se tenha certeza da ocorrência de um determinado material.

Na fig. 1, é efetuada a sobreposição da cartografia de campo com os resultados da classificação supervisionada, os números representam a sequência geológica identificada na unidade dos *Calcários Moleanos* (Duarte, 2018), as linhas representam os

contactos entre os diferentes tipos de calcário aflorantes e as manchas de cor dizem respeito aos resultados da identificação litológica aflorante, com base na classificação supervisionada.

Agradecimentos: à firma Eduardo Marques & Rosa e à empresa Ovelheiro & Filhos Lda. pela compreensão na elaboração deste trabalho, assim como na permissão da utilização dos terrenos para execução dos levantamentos efetuados.

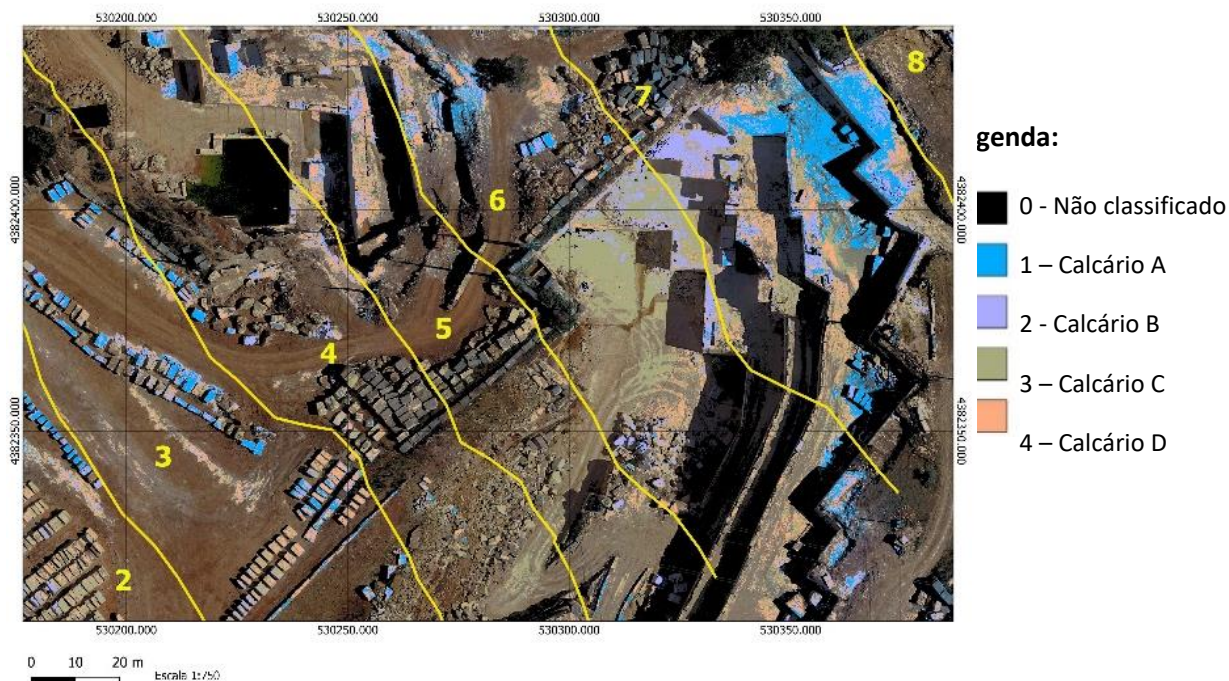


Figura 1: Sobreposição da cartografia de campo com os resultados da classificação supervisionada para o dia 27/05/2022.¹

Referências

- Duarte, J.A.M. (2018). *Contributos para a caracterização de áreas com potencial para a extração de rochas carbonatadas - Análise integrada de dados fotogramétricos, geológicos e geofísicos para caracterização de maciços rochosos carbonatados*. Dissertação de Doutoramento em Geo-tecnologias, Universidade de Coimbra. Repositório Digital da Produção Científica da Universidade de Coimbra. <http://hdl.handle.net/10316/87557>
- Ge, W.; Cheng, Q.; Tang, Y.; Jing, L. & Gao, C. (2018). Lithological Classification Using Sentinel-2A Data in the Shibanjing Ophiolite Complex in Inner Mongolia, China. *Remote Sens.* v.10(4), pp.638. <https://doi.org/10.3390/rs10040638>
- Pereira, M. J. F. L. (2022). *Utilização de imagens de alta resolução para a classificação de rocha ornamental carbonatada*. Dissertação apresentada à Universidade de Coimbra no âmbito do Mestrado em Engenharia Geológica e de Minas. Repositório Digital da Produção Científica da Universidade de Coimbra. <http://hdl.handle.net/10316/104704>
- Sekertekin, A., Marangoz, A. M., and Akcin, H. (2017) *PIXEL-BASED CLASSIFICATION ANALYSIS OF LAND USE LAND COVER USING SENTINEL-2 AND LANDSAT-8 DATA*, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-4/W6, 91–93, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W6-91-2017>

¹ Relativamente ao voo deste dia, embora a altitude de voo definida tenha sido 89m (na aplicação *Drone Deploy*), a informação registada no sistema foi de 103m (segundo o Agisoft Metashape), sendo que essa diferença de altitude pode dever-se à velocidade do vento. A imagem obtida apresenta uma combinação de cor natural, nomeadamente a composição RGB 1-2-3.

Aplicação de redes neuronais na calibração de LIBS em sulfuretos: um caso de estudo nas minas de Aljustrel

Application of neural networks in the calibration of LIBS in sulphides: a case study in Aljustrel mines

A. Sanches (1), J. Almeida (2) e A. Martínez-Graña (3)

- (1) GeoBioTec – Pólo NOVA, Monte Caparica, Portugal
- (2) GeoBioTec – Pólo NOVA e Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, Monte Caparica, Portugal, ja@fct.unl.pt
- (3) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Merced Square, Universidade de Salamanca, 37008 Salamanca, Espanha

Summary: *Laser-induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) has shown greater promise than XRF due to its ability to provide nearly instantaneous measurements on samples without the need for pre-treatment of the samples. This study aimed to test the effectiveness of artificial neural networks (ANN) in calibrating LIBS equipment by developing statistical models to quantify the levels of copper, zinc, lead, and arsenic in sulphide samples. The study used 51 samples from the Aljustrel mine in Alentejo, Portugal, and involved sample preparation, XRF measurements, collect of LIBS spectra, identification spectral peaks of reference, defining training and testing sample subsets, and applying various prediction models, such as linear and polynomial regression models, multiple linear regression models, and artificial neural network models. The results demonstrated that more complex multivariate regression models, including regression and neural networks, provided predictions with average errors magnitudes 5 to 10 times lower than simpler univariate regression models. Specifically, artificial neural networks applied to LIBS results offer a more accurate multivariate solution than regression methods.*

Key words: *Mining exploration; LIBS; spectral signature; simple and multiple regression; artificial neural networks.*

Palavras-chave: *Prospecção mineira; LIBS; assinatura espectral; regressão simples e múltipla; redes neuronais artificiais.*

A exploração mineira requer uma grande quantidade de dados para apoiar as decisões dos profissionais de diversas áreas técnicas e científicas envolvidos no sucesso de um projeto. Tradicionalmente, a obtenção de dados sobre um depósito mineral, como teores e propriedades geomecânicas, é feita através de sondagens, com coleta e preparação de amostras e análise em laboratórios acreditados. Com os teores dos elementos químicos de interesse, é possível realizar cálculos geoestatísticos, geotécnicos e económicos para avaliar a viabilidade do projeto.

Um dos problemas da obtenção de teores certificados é o custo-tempo de envio das amostras e receção dos resultados, que pode levar dias ou semanas. No entanto, o uso de equipamentos de medição expeditos, como a fluorescência de raios-X (FRX) e *Laser-induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS), têm sido relatados como métodos eficientes para a obtenção de dados num curto espaço de tempo.

Mesmo não sendo, estes equipamentos, reconhecidos para a declaração de recursos e

reservas, permitem um planeamento diário ou semanal da exploração, tornando-se uma ferramenta crucial para engenheiros e geólogos de exploração ou prospecção.

A tecnologia LIBS tem sido apontada como mais interessante do que a fluorescência de raios-X (FRX), uma vez que permite medições quase instantâneas em amostras sem a necessidade de pré-tratamento, especialmente em sulfuretos maciços. Diversos estudos, como os de El Haddad et al. (2019), Harmon et al. (2019) e Jonnathan Álvarez et al. (2019), têm demonstrado a eficiência do LIBS na quantificação de elementos químicos como cobre e zinco, por meio do desenvolvimento de calibrações específicas para os depósitos estudados, resultando em resultados semelhantes aos obtidos por métodos certificados.

Embora o efeito matriz se revele um obstáculo importante na sua utilização, este pode ser minimizado através da calibração de modelos de previsão de teores com métodos estatísticos multivariados ou redes neuronais artificiais (D'Andrea et al., 2015; Rifai et al., 2020), ponderando as

principais bandas de absorção de cada elemento químico.

A metodologia proposta para este estudo tem como objetivo testar e desenvolver diferentes modelos estatísticos para criar calibrações que permitam quantificar teores a partir de espectros obtidos por equipamentos de espectroscopia LIBS. O estudo utilizou um conjunto de 51 amostras de um depósito de sulfuretos da Mina de Aljustrel, localizada na região do Alentejo, em Portugal.

O estudo envolveu várias etapas até à construção de um modelo de calibração otimizado para a quantificação de teores em cobre, zinco, chumbo e arsénio, nomeadamente: (i) preparação das amostras; (ii) determinação laboratorial das amostras por FRX; (iii) obtenção dos espectros das amostras por LIBS; (iv) individualização dos picos de referência dos elementos mencionados; (v) criação de subconjuntos de treino e de teste das amostras; (vi) aplicação do modelo de regressão linear e polinomial; (vii) aplicação do modelo de regressão linear múltipla; (viii) desenvolvimento do modelo de redes neurais artificiais.

O estudo conclui que os métodos multivariados utilizados, como a regressão linear múltipla e as redes neurais artificiais, são capazes de fornecer previsões de teores com um erro médio de magnitude significativamente menor (entre 5 e 10 vezes, conforme o elemento químico em análise), em comparação com os métodos de regressão univariada utilizados na calibração de fábrica dos equipamentos.

As redes neurais têm um custo computacional e de tempo elevado para implementar, que pode demorar entre 30 segundos e 5 minutos, dependendo do nível de precisão que é imposto nos parâmetros de treino. Torna-se importante considerar no treino e interpretação das redes, que refinar muito a rede e definir parâmetros de treino muito baixos pode provocar um sobre ajuste, ou *overfitting*, e que uma quantidade muito elevada de neurónios ou camadas ocultas, não representa uma maior qualidade da rede.

A utilização das redes neurais neste caso em particular, permite obter uma estimação de teores ponderada por várias fontes de informação que são os picos das bandas do espectro, que têm correlação com os resultados que se pretendem obter. Apesar do tempo que é necessário para implementar uma rede neuronal, nenhum outro método consegue fazer a estimação simultânea de todos os elementos químicos de interesse, evitando ajustes posteriores elemento a elemento.

Este estudo destaca a necessidade de desenvolver calibrações específicas para cada matriz mineral, visto que as calibrações de fábrica são demasiado genéricas. Também revela a importância de controlar parâmetros como a janela de leitura dos picos espectrais, a composição mineralógica e a existência de efeitos artificiais nas leituras, para minimizar o efeito matriz e aumentar a qualidade dos resultados.

Referências

- D'Andrea, E., Pagnotta, S., Grifoni, E., Legnaioli, S., Lorenzetti, G., Palleschi, V., & Lazznerini, B. (2015). A hybrid calibration-free/artificial neural networks approach to the quantitative analysis of LIBS spectra. *Applied Physics B* 2014 118:3, 118(3), 353–360. <https://doi.org/10.1007/S00340-014-5990-Z>
- El Haddad, J., de Lima Filho, E. S., Vanier, F., Harhira, A., Padioleau, C., Sabsabi, M., ... Blouin, A. (2019). Multiphase mineral identification and quantification by laser-induced breakdown spectroscopy. *Minerals Engineering*, 134, 281–290. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2019.02.025>
- Harmon, R. S., Lawley, C. J. M., Watts, J., Harraden, C. L., Somers, A. M., & Hark, R. R. (2019). Laser-Induced Breakdown Spectroscopy—An Emerging Analytical Tool for Mineral Exploration. *Minerals* 2019, Vol. 9, Page 718, 9(12), 718. <https://doi.org/10.3390/MIN9120718>
- Jonnathan Álvarez, Marizú Velásquez, Kumar Myakalwar, A., Claudio Sandoval, Rodrigo Fuentes, Rosario Castillo, ... Jorge Yáñez. (2019). Determination of copper-based mineral species by laser induced breakdown spectroscopy and chemometric methods. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 34(12), 2459–2468. <https://doi.org/10.1039/C9JA00271E>
- Rifai, K., Özcan, L., Doucet, F., & Vidal, F. (2020). Quantification of copper, nickel and other elements in copper-nickel ore samples using laser-induced breakdown spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 165, 105766. <https://doi.org/10.1016/J.SAB.2020.105766>

SESSÃO CIENTÍFICA 16 (SC_16)
(Ciências do Espaço e de Observação da Terra)

Conveners: Lídia Candal; Vasco Mantas; David Vaz

Avaliação de potencial paleolinha de costa em Tempe Terra (Marte)

Assessment of a potential paleoshoreline on Tempe Terra (Mars)

R. Cardoso (1), D. A. Vaz (2) e P. Costa (1,3)

- (1) Universidade de Coimbra, Departamento Ciências da Terra; rafainacioc@gmail.com
 (2) Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (CITEUC).
 (3) Instituto dom Luiz (IDL).

Summary: *The objective of this work is to assess part of a putative Martian paleoshoreline proposed by Ivanov et al. (2017). We use high resolution HiRISE data to map surface units and evaluate the meaning of the thermophysical contrasts which served as a basis to establish the mentioned paleoshoreline. In this preliminary assessment, we found no evidence that link the proposed line to the existence of a paleo ocean on the northern lowlands during the Hesperian.*

Key words: *Paleoshoreline, Ocean, Remote sensing, Mars*

Palavras-chave: Paleolinha de costa, Oceano, Deteção remota, Marte

Introdução e objetivos: Discute-se há várias décadas a possibilidade de existência de um paleoceanos no hemisfério norte de Marte (e.g. Parker et al. 1989). Graças a novos instrumentos como o *Mars Orbiter Laser Altimeter* (MOLA), foi possível obter dados topográficos de alta precisão, permitindo uma melhor caracterização da superfície de Marte. São utilizadas ainda para a cartografia da superfície diversas câmaras que observam o planeta em diferentes comprimentos de onda, criando mosaicos globais de imagens. Com base neste conjunto de dados, várias paleolinhas de costa têm sido propostas por diferentes autores (e.g. Ivanov et al., 2017; Parker et al., 1989).

Estas propostas resultam da interpretação de mosaicos de imagens, e têm sido utilizadas para: justificar a localização de possíveis depósitos deltaicos e assim demonstrar a existência de um oceano (Di Achille & Hynes, 2010), e propor modelos de deformação global que justifiquem as incongruências topográficas observadas ao longo das linhas cartografadas (Parker et al., 1989). Numa escala global estas linhas não seguem superfícies equipotenciais (i.e. elevação constante) e em certas zonas existem centenas de quilómetros a separar as linhas cartografadas por vários autores (Sholes et al., 2021).

A existência de paleolinhas de costa em Marte carece de validação. Nomeadamente integrando diferentes tipos de dados (e.g. topografia, imagens no visível e infravermelho) e utilizando dados com melhor resolução espacial. Neste trabalho é estudado um setor da linha de costa proposta por Ivanov et al. (2017) na zona de Tempe Terra (Fig. 1). Temos como

objetivo analisar o significado e os critérios utilizados na interpretação feita por estes autores, de forma a avaliar a hipótese de existência de um oceano em Marte durante o Hesperiano.

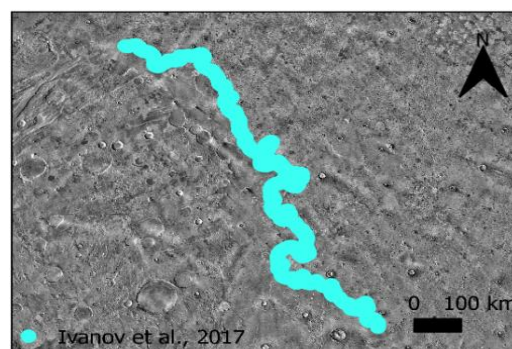


Fig. 1. Linha de costa na zona de Tempe Terra, proposta por Ivanov et al 2017.

Dados e métodos: A zona de Tempe Terra situa-se no hemisfério norte de Marte (Fig. 1), na extremidade oriental da província de Tharsis. Ivanov et al. (2017) cartografou uma possível linha de costa nesta região, com uma extensão de cerca de 1500 km utilizando um mosaico obtido a partir de dados do *Thermal Emission Imaging System* (THEMIS). Neste estudo foram utilizadas 18 imagens de alta resolução HiRISE (*High Resolution Imaging Science Experiment*, 25 cm/pixel), que intercetam a linha de costa proposta por Ivanov et al. (2017). Foi utilizado um algoritmo inicialmente desenvolvido para cartografar estruturas sedimentares eólicas (Vaz, et al., 2023), mas que neste trabalho é utilizado de forma genérica para delimitar diferentes unidades morfológicas. Este método consiste numa caracterização espectral multiescala seguida de uma classificação supervisionada com redes neuronais. Definiram-se três classes que correspondem a distintos tipos de morfologia/textura do terreno: 1) terrenos lisos/sem

morfologias; 2) blocos dispersos; 3) morfologias eólicas (Fig. 2).

Resultados e discussão: Verificamos que na região em estudo a linha interpretada por Ivanov et al. (2017) não possui expressão topográfica, que pudesse ser interpretada como plataforma de abrasão litoral.

A única evidência de localização de uma descontinuidade observa-se nos dados THEMIS (Fig. 2), em que a linha cartografada por Ivanov et al. (2017) delimita áreas com propriedades termofísicas distintas (Fig. 2a). Quando analisamos este limite à escala das imagens HiRISE (Fig. 2b), constatamos que corresponde a um contacto entre unidades

morfológicas distintas, nomeadamente entre uma unidade constituída por blocos por vezes de grandes dimensões (1-2 m) e unidades de cariz superficial (ex. depósitos eólicos). A formação destas unidades poderá estar relacionada com processos eólicos e periglaciares, não sendo clara a associação com uma estratigrafia/geomorfologia típica de zonas litorais.

Conclusões: Esta análise preliminar sugere que a paleolinha de costa cartografada por Ivanov et al. (2017) na região oriental de Tempe Terra, corresponde meramente a um contraste de propriedades termofísicas, associado à presença/ausência de blocos ou depósitos eólicos que cobrem a superfície.

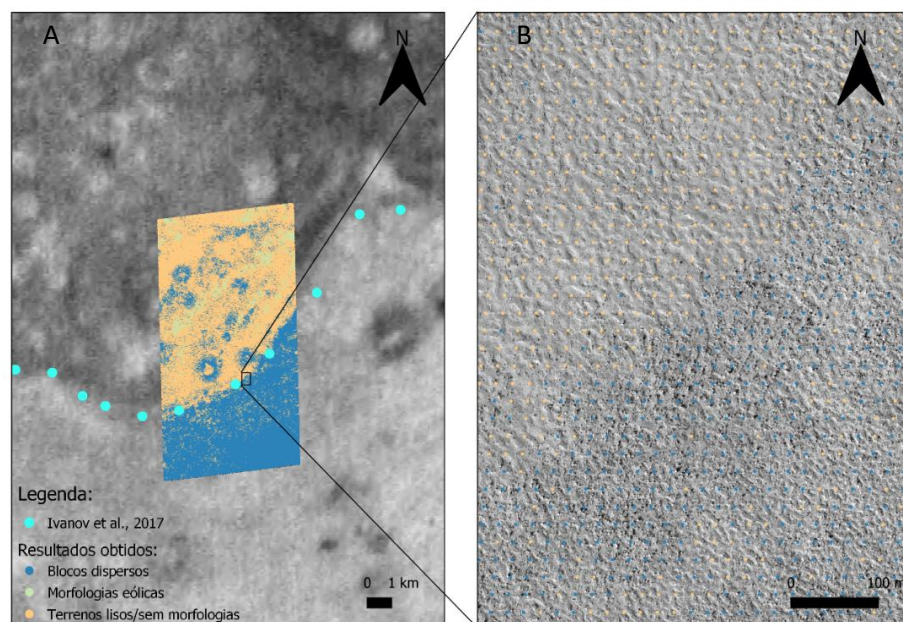


Fig. 2. Resultado da cartografia automática visando cartografar os três tipos de unidades. a) classes cartografadas sobrepostas no mosaico THEMIS noturno. b) Imagem HiRISE (ESP_046803_2325).

Agradecimentos: D. A. Vaz: CITEUC (UID/Multi/00611/2021&POCI-01-0145-FEDER-006922), FCT (CEECIND/02981/2017) e Laboratório de Computação Avançada da UC pelos recursos informáticos disponibilizados.

Referências

- di Achille, G., & Hynek, B. M. (2010). Ancient ocean on Mars supported by global distribution of deltas and valleys. *Nature Geoscience*, 3(7), 459–463. <https://doi.org/10.1038/ngeo891>
- Ivanov, M. A., Erkeling, G., Hiesinger, H., Bernhardt, H., & Reiss, D. (2017). Topography of the Deuteronilus contact on Mars: Evidence for an ancient water/mud ocean and long-wavelength topographic readjustments. *Planetary and Space Science*, 144, 49–70. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2017.05.012>
- Parker, T. J., Saunders, R. S., & Schneeberger, D. M. (1989). Transitional Morphology in West Deuteronilus Mensae, Mars" Implications for Modification of the Lowland/Upland Boundary. In *Allen & Unwin, Boston) and fretted terrain (R. P. Sharp (Vol. 82)*.
- Sholes, S. F., Dickeson, Z. I., Montgomery, D. R., & Catling, D. C. (2021). Where are Mars' Hypothesized Ocean Shorelines? Large Lateral and Topographic Offsets Between Different Versions of Paleoshoreline Maps. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126(5). <https://doi.org/10.1029/2020JE006486>
- Vaz, D. A., Silvestro, M., Chojnacki, M., Silva, D. C. A. (2023). Constraining the mechanisms of aeolian bedform formation on Mars through a global morphometric survey. *Earth and Planetary Science Letters*, em revisão.

Visualizadores 3D e de Observação da Terra como fonte de promoção e expansão do conhecimento geológico

3D and Earth Observation viewers as a source of promotion and expansion of geological knowledge

L. Quental (1), P. Patinha (1), P. Gonçalves (1) e A. Pereira (1)

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia, lidia.quental@lneg.pt

Summary: *The 3D and Earth observation viewers within geoportal of Energy and Geology provide the access to multisource data to support and enhance geological knowledge. These platforms expose new data and allow several new functionalities for improved interaction tailored to the stakeholders needs. These include the height component, remote sensing indices, spectral profiles and comparison with standard materials, multitemporal analysis and change detection, for a fast overview of geological characterization and updated evolution. The overall result allows a better understanding of the Earth's surface and subsurface combining remote sensing data, geology, and landforms, thus promoting and expanding geological knowledge.*

Key words: 3D, Landsat, Sentinel 2, multitemporal, algorithms, geoPortal

Palavras-chave: 3D, Landsat, Sentinel 2, multitemporal, algoritmos, geoPortal

Introdução

O [geoPortal da Energia e Geologia \(2020\)](#) facilita o acesso à geoinformação do LNEG em diversas matérias. Ao geoPortal foram adicionados em dezembro de 2022 mais dois visualizadores, i.e. [3D](#) e de [Observação da Terra](#) (OT).

A possibilidade de aceder a fontes variadas que contribuem para adquirir informação georreferenciada sobre a superfície e subsuperfície é relevante no âmbito do conhecimento geológico, dando-se a conhecer estas duas plataformas.

Visualizadores 3D e OT

3D – Permite a exploração da superfície da Terra sob diversos ângulos, incorporando a componente altimétrica e de relevo, nomeadamente cota e altitude de observação. O utilizador tem ainda a possibilidade de aproximar a uma escala adequada e sobrepôr à componente altimétrica conjuntos de dados 2D, para obter informação adicional e uma melhor compreensão sobre determinado conjunto de dados (Tab. I e Fig. 1). Os produtos 2D, bases de dados geográficas e dados derivados de OT, processados a nível nacional, têm especificações detalhadas no [Catálogo de Metadados](#).

OT –Disponibiliza informação sobre os sistemas físicos, químicos e biológicos do planeta através de tecnologias de deteção remota, nomeadamente através de imagens capturadas por duas missões óticas, a) Landsat da National Aeronautics and Space Administration (NASA) e b) Sentinel do programa Europeu do Espaço Copernicus. As diferentes bandas

de cada uns dos sensores podem ser combinadas e visualizadas, para evidenciar características

Tabela I. Produtos 2D no visualizador 3D

Geodatabases	Geossítios Ocorrências e Recursos Minerais Portugueses SIORMINP Carta Geológica de Portugal (1:1M)
Derivados de OT	Mapa de Declives (EU-DEM) Mapa de Exposição de Vertentes (EU-DEM) Índices Mineralógicos Análise Multivariada dos sensores Sentinel-2

específicas em função do comprimento de onda das bandas selecionadas e das operações realizadas, para explorar sob o ponto de vista da geologia, batimetria, ecologia, agricultura, entre outros. Neste visualizador alguns renderizadores estão predefinidos e outros podem ser definidos à medida dos requisitos do utilizador, para extrair informação das imagens, e.g., obter informação espectral sobre pontos de cenas e comparar com assinaturas espectrais padrão; associar bandas num gráfico de dispersão espectral e identificar a relação com traços e materiais de interesse nas imagens; pesquisar imagens numa série temporal de dados e comparar temáticas de interesse usando vários filtros de seleção (Fig.2).

Conclusões

Os novos visualizadores acrescentam valor ao repositório do LNEG, através da disponibilização de informação adicional que permite ao utilizador dispor

de um conjunto de ferramentas que favorecem uma maior compreensão e percepção da superfície terrestre, de uma forma rápida e sinótica para posteriores desenvolvimentos. Estão em linha com os requisitos mais avançados da sociedade digital e são

dinâmicos permitindo a integração de futuras evoluções e melhorias, e.g. controlar o exagero vertical e associar mais informação aos produtos.

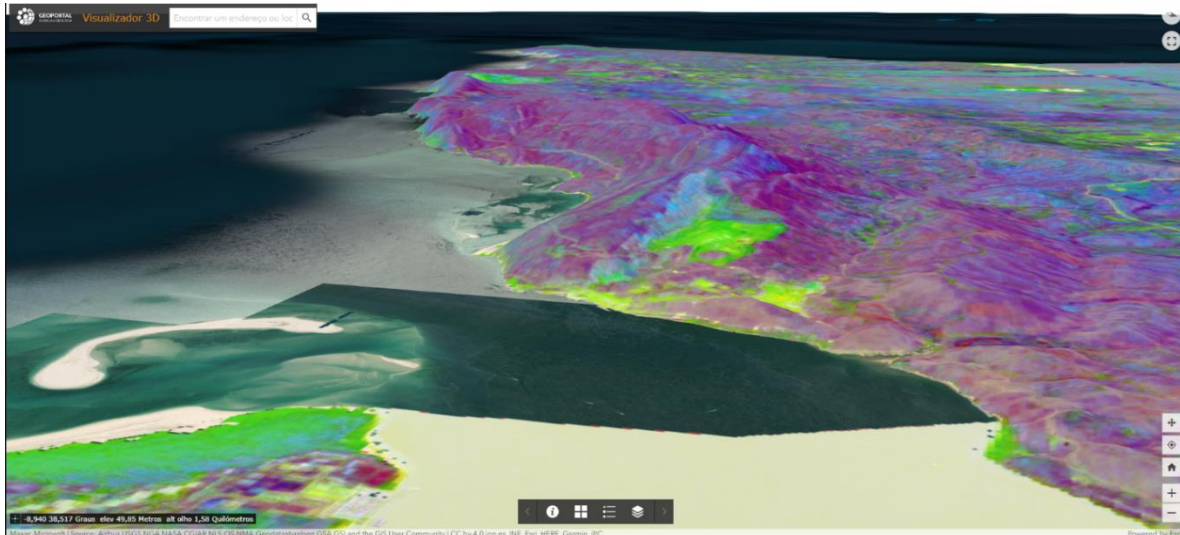


Fig. 1. Visualizador 3D. Detalhe do Parque Natural da Arrábida com análise multivariada do Sentinel-2 sobreposta (Fração de Ruído Mínimo).

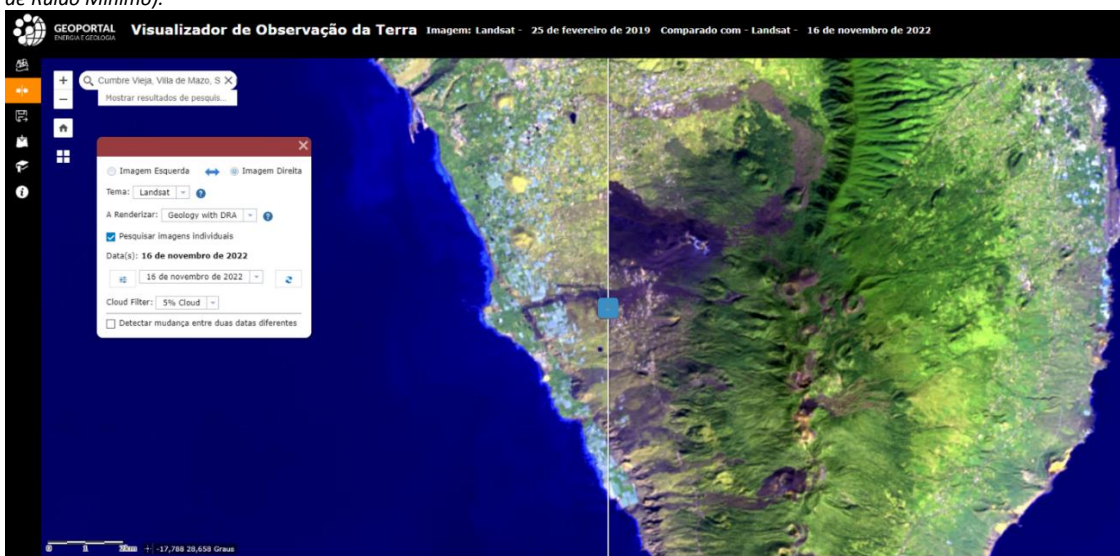


Fig. 2. Visualizador de observação da Terra. Imagem do satélite Landsat 8 OLI, focado no vulcão de Cumbre Vieja (La Palma) com realce para diferenciação geológica e comparação de duas imagens, uma pré erupção (esquerda 25-02-2019) e outra após erupção (direita 16-11-2022)

Agradecimentos: Os visualizadores 3D e de OT foram financiados pelo Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE2020) através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) – Projeto GPGE2020.

Referências

geoPortal da Energia e Geologia (2020) em <https://geoportal.ineg.pt/> [Consultado 10 de fevereiro 2023].

Deteção de anomalias mineralógicas nas planícies vulcânicas da Lua

Detection of mineralogical anomalies in the Moon's volcanic plains

B. Rodrigues (1), P. Pina (1,2) e P. Costa (1,3)

- (1) Departamento Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, beatrizsimoerodrigues@gmail.com
- (2) Instituto Astrofísica e Ciências do Espaço.
- (3) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

Summary: Impact craters can help describing the geological history of the Moon and also allow dating their surfaces. The spatial density of craters may also be used to infer with greater resolution the existence of mineralogical anomalies in the large volcanic plains. Thus, a methodology is presented to quantify the correlation between the density of impact craters and the low-resolution mineralogical contents available and obtained remotely in order to better understand how these two factors relate. The results of crater identification, the calculation of their densities and their spatial analysis with the maps of iron oxides and titanium oxide contents are tested in the seas of Tranquility and Serenity in the near-side of the Moon.

Key words: impact craters, dating, Clementine, iron oxides maps, titanium oxide maps

Palavras-chave: crateras de impacto, datação, Clementine, mapa óxidos de ferro, mapa óxido de titânio.

Neste resumo apresenta-se uma metodologia para detetar remotamente anomalias mineralógicas com mais pormenor nos *maria* lunares. É baseada na densidade de crateras de impacto e na correlação com mapas espectrais construídos a partir de informação remota captada pela sonda Clementine da NASA.

Os mares lunares são constituídos essencialmente por basaltos, são bastante extensos e apresentam um relevo plano muito suave (Wilhelms, 1987). São o resultado de variados episódios de vulcanismo que preencheram as grandes bacias ou depressões criadas após fortes bombardeamentos de asteroides, maioritariamente há cerca de 3,8-3,9 mil milhões de anos (Spudis, 2015).

A metodologia utilizada baseia-se em dois passos principais: o primeiro, na identificação de crateras de impacto (Kneissl et al., 2011) e na determinação da sua densidade espacial (Dias e Pina, 2018), a partir de Sistemas de Informação Geográfica (ArcGIS™) e na datação das subunidades em cada *mare*; num segundo passo, realiza-se a correlação entre a densidade de crateras de cada subunidade com os mapas mineralógicos de óxidos de ferro e de óxido de titânio.

Selecionou-se para desenvolver e testar esta metodologia os mares da Tranquilidade (*Tranquillitatis*) e da Serenidade (*Serenitatis*) localizados na face visível da Lua (Fig. 1). Saliente-se que o Mar da Tranquilidade, com 873 km de diâmetro, foi o local onde pousou a missão Apollo 11. Por outro lado, o Mar da Serenidade, que apresenta

um diâmetro de 671 km, foi onde a missão Apollo 17 alunou. Ou seja, em ambos os mares foram recolhidas amostras de material geológico pelos astronautas dessas missões.

Os dados utilizados no desenvolvimento desta metodologia são imagens da missão LRO da NASA captadas pela câmara LROC (Lunar Reconnaissance Orbiter Camera), de resolução de 100 metros/pixel e mapas de concentração mineralógica construídos a partir de dados multiespectrais da sonda Clementine, com resolução espacial de 1 km/pixel (Lucey, 2004).

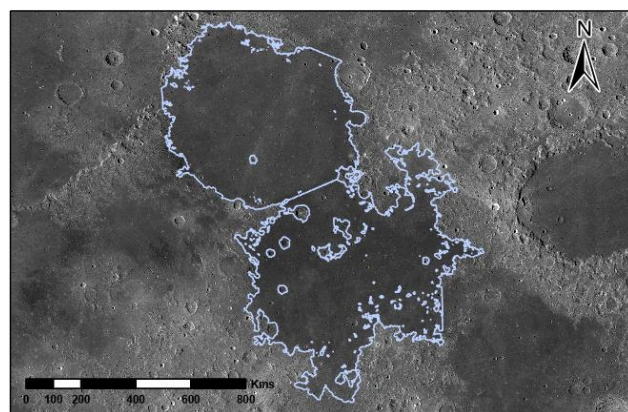


Fig. 1. Delimitação das áreas de estudo com os mares da Tranquilidade (a norte) e da Serenidade (a sul).

São apresentados resultados que permitem avaliar a correlação entre a densidade de crateras de impacto e os teores indicadores da ocorrência de minerais de ferro e de titânio (Fig. 2).

Estes resultados foram obtidos através do seguinte procedimento analítico:

i) de forma a preencher lacunas nas bases de dados existentes, foram cartografadas as crateras com diâmetro 0,5-1 km utilizando o software Crater Tools (Kneissl et al., 2011); ii) construção de mapas de densidade espacial de crateras (ArcGIS);

iii) determinação das subunidades vulcânicas por segmentação de imagem e respetiva datação recorrendo à ferramenta CraterStats2 (Michael et al. 2012);

iv) avaliação quantitativa de correlação entre as subunidades vulcânicas e as concentrações de óxidos de ferro e óxido de titânio.

Os resultados obtidos permitem identificar potenciais anomalias mineralógicas com detalhes superiores aos permitidos diretamente através dos mapas Clementine, devido à maior resolução fornecida pelos mapas de densidade espacial de crateras.

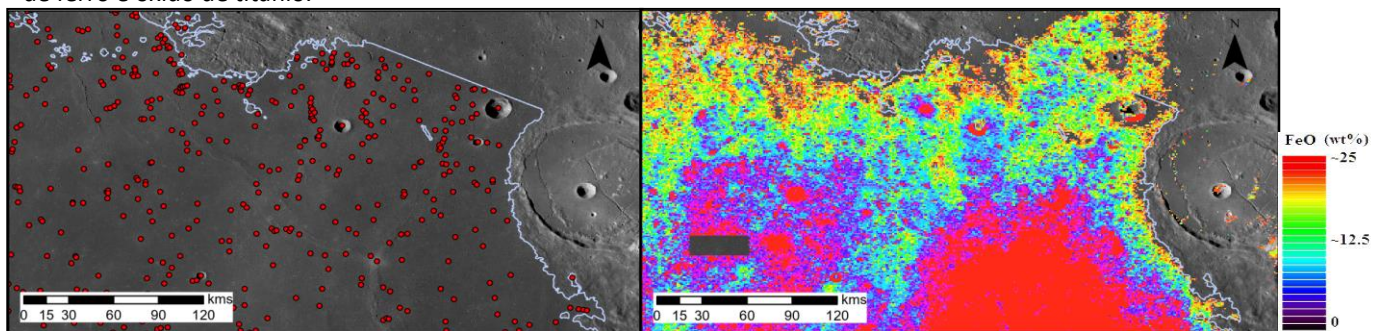


Fig. 2. Pormenor no mar da Tranquilidade com utilização do software ArcGIS para identificação de crateras (esquerda) e mapa Clementine de concentrações de óxidos de ferro (direita).

Agradecimentos: Financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) –UIDB/50019/2020.

Referências

- Dias, P., Pina, P. (2018). The ages of Sinus Iridum based on crater densities. LPSC2018 - 49th Lunar and Planetary Science Conference, abs. no. 1217.
- Hiesinger, H., Jaumann, R., Neukum, G., & Head III, J. W. (2000). Ages of mare basalts on the lunar nearside. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 105(E12), 29239-29275.
- Kneissl, T., van Gasselt, S. & Neukum, G. (2011). Map-projection-independent crater size-frequency determination in GIS environments - New software tool for ArcGIS, *Planetary and Space Science*, 59, 1243-1254.
- Lucey, P. (2004). Mineral maps of the Moon. *Geophysical Research Letters*, 31, L08701.
- Michael, G.G., Platz, T., Kneissl, T., Schmedemann, N. (2012). Planetary surface dating from crater size-frequency distribution measurements: spatial randomness and clustering. *Icarus*, 218, 169-177.
- Spudis, P.D. (2015). Volcanism on the Moon. In *The Encyclopedia of Volcanoes*, Elsevier, 689-700.
- Wang, Y., Wu, B., Xue, H., Li, X., & Ma, J. (2021). An improved global catalog of lunar impact craters (≥ 1 km) with 3D morphometric information and updates on global crater analysis. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126, e2020JE006728.
- Wilhelms, D.E. (1987). The geologic history of the Moon, United States Geological Survey Professional Paper 134.

Exploring methods to improve mineral identification using PRISMA hyperspectral images

Explorando métodos para melhorar a identificação de minerais usando imagens hiperespectrais PRISMA

D. Santos (1,2), J. Cardoso-Fernandes (1,2), A. Lima (1,2) and A. C. Teodoro (1,2)

- (1) Department of Geosciences, Environment and Spatial Planning, University of Porto, Porto, Portugal, *douglas.santos@fc.up.pt
 (2) Institute of Earth Sciences (ICT), Porto, Portugal

Sumário: A baixa resolução espectral e espacial dos satélites open source são um fator limitante para a identificação de minerais e rochas, através do método de classificação supervisionada. Um satélite com baixa resolução espectral terá um espectro muito simples e pode perder características que seriam importantes para classificar minerais. Este problema pode ser resolvido com satélites hiperespectrais, como o PRISMA, que possui 232 bandas. Entretanto, o satélite PRISMA possui baixa resolução espacial (30 metros). Isto significa que o pixel é, geralmente, muito maior que o mineral ou rocha que estamos tentando identificar. Este tipo de situação é chamado de ocorrência de subpixel e pode dificultar a classificação. Esse trabalho de investigação explora métodos de processamento de imagem para aumentar o conhecimento científico tanto do uso de imagens hiperespectrais PRISMA para a prospeção mineral, quanto dos métodos de processamento de imagem mais adequados para os produtos PRISMA.

Palavras-chave: Spectral Unmixing, MTMF, Classificação de subpixel, Ocorrência de subpixel, Prospeção mineral

Key words: Spectral Unmixing, MTMF, Subpixel classification, Subpixel occurrence, Mineral exploration

Remote Sensing has been successfully used to target potential minerals or rock outcrops through supervised classification method^{1,2}. The low spectral, and spatial resolution of the open-source satellites are a limiting factor for this image processing methods. The low spectral resolution problem can be solved with hyperspectral satellites, such as PRISMA, which has 232 bands (62 VNIR bands and 170 SWIR bands). Despite the high spectral resolution, the PRISMA satellite still has 30 meters ground sample distance (GSD). This means that the pixel is, usually, much larger than the mineral or rock that we are trying to identify. This type of situation is called subpixel occurrence and generates a mixed spectrum that can make classification difficult³. Few works address PRISMA images for mineral exploration. More recently, a study was conducted at St. Austell China clay region, using a method based on spectral unmixing, and was able to identify three different granite types. This work continues the investigation developed by Santos et al.,⁴ aiming to test robust classification methods and compare their effectiveness in identifying the different types of granite in a subpixel occurrence situation.

The study area is in St. Austell China clay region, in Cornwall. It is a large open pit mine producing mainly Kaolin. Six types of granite can be found there namely: (i) Biotite Granite, (ii) Lithium Mica Granite,

(iii) Tourmaline Granite, (iv) Fine-grained Granite, (v) Topaz Granite, and (vi) Tourmaline Breccia Pipe.

A PRISMA image, collected on 05/04/2020, was acquired with a cloud coverage of 3,27%. All image processing methods were done in ENVI 5.6.2. The first method tested was the Spectral Hourglass Wizard (SHW) Workflow⁵. SHW is based on spectral unmixing and consists of a set of methods for selecting and extracting pure parts of a mixed spectrum, called endmember, which can then be used for classification. The same endmembers that were extracted and used in Santos et al.,⁴ were used as input for classification in this study. Therefore, four endmembers identified as minerals (biotite, topaz, tourmaline, and indefinite) were used. After introducing the endmembers, the Mixture Tuned Matched Filtering (MTMF) classification⁶ was applied using the SHW workflow. The MTMF was also applied individually, without influence from the SHW workflow, using the same endmembers. Finally, two Machine Learning algorithms were tested, the Support Vector Machine (SVM)² and Random Forest (RF)¹. The SVM was applied with kernel Radial Basis function, Gamma: 0.005, and Parameter Penalty: 100.000. The RF was applied with N_estimators: 500.

The MTMF applied by SHW was able to differentiate three granite types (biotite, topaz, and tourmaline),

this result shows the efficiency in identifying elements that are smaller than the pixel size (Fig. 1).

Furthermore, the fact that they were able to distinguish pixels that correspond to different granite types with endmembers that were not collected in the same workflow, show the consistency of the endmembers for the classification of the materials under study. The MTMF without SHW workflow failed to distinguish the different granite types, highlighting pixels randomly and at odds with the geological maps. This shows that the SHW workflow enhances the subpixel classification of the MTMF, making it more suitable for mineral exploration. Machine Learning algorithms did not achieve the desired result either. RF was not able to identify any granite type. Regarding the SVM result, of the different granite types, only the biotite type was identified in agreement with geological maps. This paper tests

different supervised classification methods for mineral identification using hyperspectral images. The results show that the combination of SHW workflow and MTMF is a powerful tool for processing hyperspectral images for mineral exploration purposes. Other powerful supervised classification methods, such as deep learning algorithms, can be tested in the future. However, among the methods presented in this study SHW has proven to be the best option for mineral exploration.

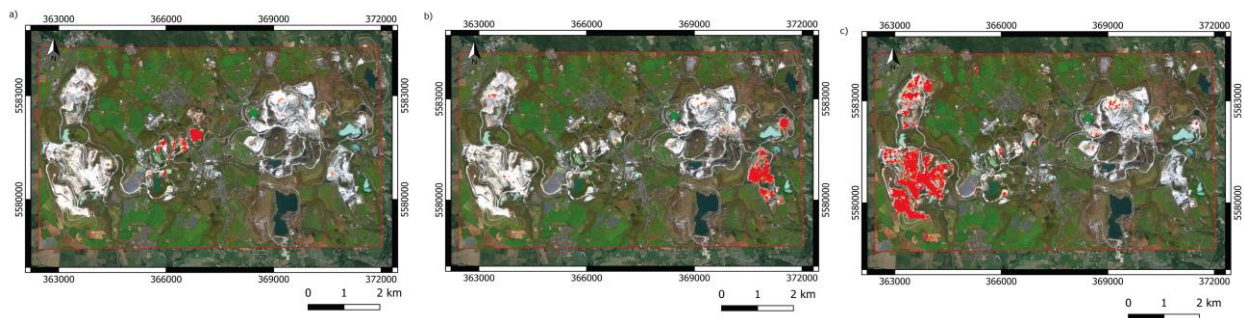


Fig. 1. MTMF classification result. a) Classification result for endmember 7 (Topaz). Most of the pixels were classified in the Topaz Granite region. b). Classification result for endmember 6 (Tourmaline). Most of the pixels were classified in the Tourmaline Granite region. c) Classification result for endmember 3 (biotite). Most of the pixels were classified in the Biotite Granite region.

Acknowledgments: The work is funded by national funds through FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., in the framework of the ICT project with the references UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020.

References

- [1] Santos, D., Cardoso-Fernandes, J., Lima, A., Müller, A., Brönnner, M., & Teodoro, A. C. (2022). Spectral Analysis to Improve Inputs to Random Forest and Other Boosted Ensemble Tree-Based Algorithms for Detecting NYF Pegmatites in Tysfjord, Norway. *Remote Sensing*, 14(15), 3532.
- [2] Cardoso-Fernandes, J., Teodoro, A. C., Lima, A., & Roda-Robles, E. (2019). Evaluating the performance of support vector machines (SVMs) and random forest (RF) in Li-pegmatite mapping: preliminary results. In K. Schulz, U. Michel, & K. G. Nikolakopoulos (Eds.), *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications X* (Vol. 11156, pp. 146–157). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2532577>.
- [3] Peyghambari, S., & Zhang, Y. (2021). Hyperspectral remote sensing in lithological mapping, mineral exploration, and environmental geology: an updated review. *Journal of Applied Remote Sensing*, 15, 1–25.
- [4] Santos, D., Cardoso-Fernandes, J., Campos de Lima, A. M., & Teodoro, A. C. M. (2022). *The potential of spectral unmixing method applied to PRISMA hyperspectral images in the identification of Li minerals: an evaluation for prospecting purposes*. 1226811(October), 43. <https://doi.org/10.1117/12.2636034>.
- [5] L3Harris., *Spectral Hourglass Wizard*. Retrieved October 7, 2022, from <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/spectralhourglasswizard.htm>.
- [6] L3Harris., *Mixture Tuned Matched Filtering*. Retrieved November 2, 2021, from <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/mtmf.html>.

Machine Learning aplicado à determinação da profundidade em regiões costeiras através de imagens de satélite (PlanetScope)

Machine Learning applied for the determination of depth in coastal regions through satellite images (PlanetScope)

R. Santos (1, 2) e R. Quartau (1, 2)

- (1) Instituto Hidrográfico – Marinha, ruben.santos@hidrografico.pt
(2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz, Lisboa, Portugal

Summary: In last years, machine learning (ML) algorithms have been used in satellite derived bathymetry (SDB) with great success. However, we can use distinct parameters for building a new model, using the same ML algorithm, implying distinct results. In this study, we used the Random Forest (RF) algorithm for depth determination combining cube satellite images from PlanetScope constellation and water properties or other parameters related with column water (e.g., Chlorophyll-a, turbidity, etc.). This study allowed testing distinct parametrization with two images. The results show that the images must be selected carefully, avoiding the sun glint in the water surface. 2018/09/20 images allowed getting a SDB similar to ground truth bathymetry (GTB), with coefficient of determination, $R^2 = 0.93$ and a normal curve of residuals (differences between SDB and GTB) between -1 and 1 m. These results show that the ML technique can provide good estimations for the Portuguese coastal waters.

Key words: Random Forest, bathymetry, PlanetScope, morphology

Palavras-chave: Random Forest, batimetria, PlanetScope, morfologia

Introdução

Na área da derivação da batimetria por imagens de satélite, tem havido um aumento na utilização de algoritmos de *machine learning*. Neste estudo pretende-se numa primeira fase testar algumas parametrizações para obter-se um modelo eficaz e robusto, numa segunda fase, pretende-se observar a qualidade das superfícies SDB obtidos com essa parametrização. Nesse sentido, foram utilizadas imagens da constelação PlanetScope (PS) devido à aquisição de imagens diárias permitir uma escolha das melhores imagens.

Dados e métodos

Para este estudo foi usado um conjunto de dados localizado na região de Tavira (Fig.1A e 1B) e constituído pelo modelo topo-batimétrico (GTB), produzido com dados de setembro de 2018, com uma resolução espacial de 30 cm e com uma amplitude altimétrica entre 10 a -16 m em relação ao Zero Hidrográfico (ZH). Estes dados foram descarregados do portal do Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), tal como, duas imagens da constelação de satélites da PS, através do Programa de Educação e Investigação da Planet (Tabela I). A resolução espacial do modelo GTB foi igualada à resolução das imagens através da

biblioteca *gdal* com a sub-rotina *Warp*. Esta grelha foi importada para o QGIS e a altimetria (H) foi corrigida com a altura da maré para cada instante de aquisição das imagens, obtendo assim o valor da profundidade nesse instante (Prof. Corrigida).

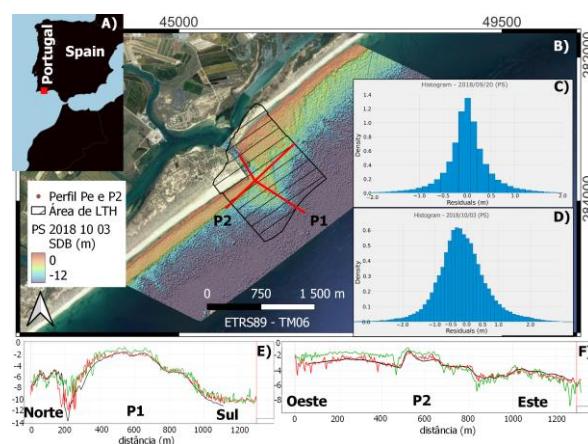


Fig. 1. A) O quadrado vermelho representa a localização de Tavira. B) Como fundo está uma imagem de satélite do Google Earth; A localização do GTB da APA está representada pelo polígono preenchido com linhas paralelas de cor preta; os perfis batimétricos P1 e P2 estão representados pelas linhas vermelhas; Localização das superfícies SDB está representada pela escala de cores. C) Histograma dos resíduos (SDB-GTB) para a data 2018/10/03, com 1% de dados para treino. D) Histograma dos resíduos para a data 2018/09/20, com uma amostragem de treino de 1%. E) e F) Perfis P1 e P2 do GTB (linha preta), SDB 2018/09/20 (linha vermelha) e SDB 2018/10/03 (linha verde).

Tabela 1. Parâmetros das imagens PS: nome do sensor/satélite, comprimento de onda das bandas vermelha (R), Verde (G), Azul (B) e infravermelho próximo (NIR).

Sensor	Aquisição	Comprimento de onda das bandas B, G, R, NIR (nm)				Resolução (m)
		B	G	R	NIR	
0e3a	20/09/2018	517	552	633	812	3.0
103a	03/10/2018	505	546	625	809	

Para esta correção foi usada a previsão da altura da maré para o marégrafo de Faro-Olhão (M), que consta no portal do Instituto Hidrográfico.

$$\text{Prof. Corrigida} = H - M$$

O pré-processamento das imagens foi realizado através do software ACOLITE v20221114.0, para corrigir o efeito da atmosfera sobre a radiação utilizando o algoritmo *dark spectrum* (Vanhellemont, 2019), para remover a região seca (terra) foi utilizada uma máscara aos dados. Desta forma, foi possível obter as reflectâncias para cada banda espectral. Este software ainda permitiu obter a concentração da matéria em suspensão, turbidez, *backscattering* total das partículas, profundidades do disco *Secchi* (visibilidade ao longo da coluna de água), o declive espectral do *backscattering* das partículas (Pitarch e Vanhellemont, 2021). Estes resultados foram sobrepostos à grelha de pontos com a altimetria (*in-situ*), de forma a obter uma única grelha com todos os valores necessários para o modelo.

Para a construção do modelo RF foi desenvolvida uma sub-rotina em *python v3.8* utilizando a biblioteca *Scikit-learn*. Para a escolha da melhor parametrização do nosso modelo, testamos 1% e 5% dos dados para treinar o modelo, tal como, variámos o número de árvores de decisão entre 100, 250, 350, 500 e 1000. Os restantes dados (99% e 95%) foram usados para realizar o teste de *score* do modelo criado, ou seja, determinou-se o coeficiente de determinação (R^2) para verificar se o modelo consegue obter bons resultados.

As várias superfícies batimétricas permitiram ainda obter vários perfis, determinar a diferença (resíduos)

entre as superfícies SDB e GTB, para visualizarmos a qualidade dos resultados.

Resultados e discussão

Todos os modelos RF construídos, neste estudo, para derivar a batimetria, revelaram o elevado peso da banda do verde (~88%) nas superfícies SDB. Este facto já era espectável, devido a ser o comprimento de onda que atinge maiores profundidades.

O teste sobre o número de árvores de decisão apresentou resultados com pequenas diferenças para 100, 250, 350, 500 e 1000 árvores. No entanto, o modelo criado com 500 árvores obteve um coeficiente de determinação (R^2) superior aos restantes, apesar de todos eles terem apresentados valores superiores a 0.93.

O teste para escolher a percentagem de dados para treinar o modelo permitiu observar um modelo com $R^2 = 0.94$ quando foram usados 5% dos dados, correspondendo a 7600 pontos e $R^2 = 0.93$ quando foi usado 1% dos dados, correspondendo a 1500 pontos. O modelo treinado com 5% dos dados obteve um R^2 superior em 0.01. No entanto, para este estudo consideramos que esta ligeira diferença podia ser desprezada, tendo em vista à grande diferença do número de pontos.

Os resíduos presentes na Fig.1C e 1D, revelam uma curva normal quase perfeita para ambas as superfícies SDB, tal como, uma amplitude de resíduos maior para a superfície SDB de 2018/10/03 (-2 e 2 m). Para a superfície SDB obtida com a imagem de 2018/09/29 os resíduos estão concentrados entre -1 e 1 m. Esta diferença pode dever-se ao brilho solar ou ondulação observada na imagem de 2018/10/03.

Os perfis P1 e P2 (Fig.1E e 1F), também mostram que a superfície SDB gerada com a imagem de 2018/09/29 acompanha melhor a altimetria de referência da APA. Principalmente, nas regiões de baixa profundidade.

Nestes resultados (SDB) observou-se bastante ruído, onde os valores altimétricos variam bastante de pixel para pixel. Esta situação pode ser resolvida através da aplicação de um filtro às imagens.

Agradecimentos: Financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) – UIDB/50019/2020.

Referências

- Vanhellemont, Q., 2019. Adaptation of the dark spectrum fitting atmospheric correction for aquatic applications of the Landsat and Sentinel-2 archives. *Remote Sensing of Environment* 225, 175–192
- Pitarch, J., & Vanhellemont, Q. (2021). The QAA-RGB: A universal three-band absorption and backscattering retrieval algorithm for high resolution satellite sensors. *Development and implementation in ACOLITE*. *Remote Sensing of Environment*, 265, 112667.

Sistema fluvio-deltaico da cratera Jezero: modelação sedimentar do balanço de massas, *knickpoints* e paleo-linha de costa

Jezero crater fluvio-deltaic system: sedimentary mass balance modelling, *knickpoints* and paleoshoreline

D. C. A. Silva (1) e D. A. Vaz (1)

(1) CITEUC, Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (david.silva@uc.pt)

Summary: *Valley networks and associated fan-shaped deposits are among the strongest geological evidences that liquid water was previously stable on Mars' surface. Studying these erosive and depositional features is one of the few ways to set limits on how much water was present on the surface, giving important clues about the paleoenvironmental conditions and the planet's potential for habitability. The fan deposit in Jezero crater is a prominent example, on which we focus on this work. By doing a mass balance modelling and analyzing drainage network knickpoints, we will seek to better understand the evolution of the putative paleoshoreline that once existed.*

Palavras-chave: *Depósitos em leque, vales, água, superfície de marte, deteção remota*

Key words: *Fan-shaped deposits, valleys, water, Mars surface, remote sensing*

Introdução e objetivos: Apesar de atualmente ser um planeta árido, Marte terá outrora tido um clima mais ameno, com uma atmosfera densa capaz de suportar um ciclo hidrológico. Esta evolução climática pode ser inferida através dos depósitos sedimentares de possível origem deltaica que existem na superfície (Achille & Hynes, 2010a, Vaz, et al., 2020).

O depósito sedimentar localizado na cratera de Jezero está atualmente a ser estudado *in-situ* pelo rover *Perseverance*. Nesta mesma área foram anteriormente identificados sedimentos contendo sílica hidratada (Pan et al., 2021). Existem ainda evidências estratigráficas e morfológicas que permitem definir diferentes fases de progradação e transgressão, bem como de uma fase erosiva posterior à deposição do corpo sedimentar (Goudge et al., 2018). Este conjunto de evidências sugere que este depósito formou-se por processos fluvio-deltaicos (Fasset & Head, 2005) no final do Noaquiano e início do Hesperiano (Mangold et al., 2021).

Neste trabalho procuramos obter uma visão integrada das diferentes fases de evolução deste sistema fluvio-deltaico, procedendo à análise de balanço de massas de forma a avaliar os processos de deposição e exumação (Quantin-Nataf et al., 2021). Em última análise, pretendemos avaliar a possibilidade de existência de uma grande massa de água no hemisfério norte (Di Achille & Hynes, 2010b), nomeadamente através da comparação com os

knickpoints de redes de drenagem propostos por Duran et al. (2019) para outros vales marcianos.

Dados e métodos: De modo a cobrir toda a área a ser estudada, foram criados 21 modelos digitais de terreno e respetivas ortoimagens. Estes dados foram produzidos utilizando imagens da *Context Camera* (CTX), processadas utilizando os softwares *ISIS* (*Integrated Software for Imagers and Spectrometers*) e *NASA Ames Stereo Pipeline*.

Vaz et al. (2020) identificou a existência de dois grupos diferentes de depósitos em forma de leque na superfície marciana. Para tal, realizou um balanço de massa entre o material removido do vale e o material depositado na desembocadura do mesmo. Este estudo foi baseado na equação:

$$(V_V + V_{TAR}) \times (1 - \lambda_V) = (V_F + V_{erod}) \times (1 - \lambda_F) \times L$$

que relaciona o volume de material em falta no vale e depositado (V_V e V_F respetivamente), as porosidades (λ_V e λ_F), o volume de materiais eólicos depositados (V_{TAR}) e o volume de material erodido (V_{erod}). L é um coeficiente multiplicativo presente para estimar a possibilidade de parte dos sedimentos transportados se terem dispersado *offshore*. Os volumes foram estimados a partir dos modelos digitais de terreno, utilizando as metodologias descritas em Vaz et al. (2020).

Resultados preliminares: Após a cartografia do vale, dos depósitos e da cratera (bacia), foram realizados os cálculos dos volumes e identificaram-se várias

descontinuidades que associamos a diferentes fases de incisão do vale (Fig. 1). Inicialmente foram apenas tidos em conta dois possíveis cenários: a) a totalidade do vale e o material depositado visível; e b) apenas a porção do vale mais próxima da cratera e o depósito dentro da cratera (Fig.2). Considerando uma porosidade do depósito de 0.3, uma porosidade do vale de 0.25 e uma taxa de erosão de 2.7 nm/ano obtemos: cenário a) $L \sim 10$ indica que o volume de material retirado do vale é cerca de dez vezes superior ao volume de material depositado; cenário b) $L = 0.67$, indicando que o material removido da secção do vale mais próxima da cratera não é

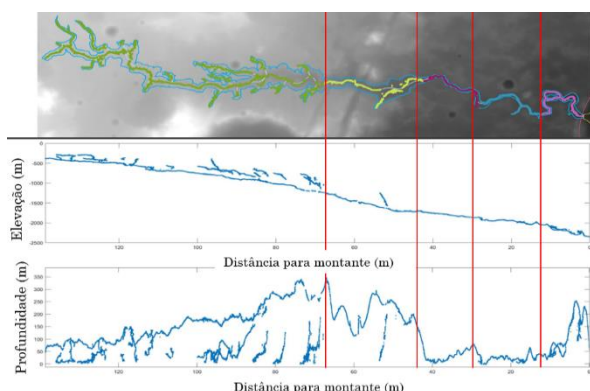


Fig. 1. – Neretva Vallis (acima) com a linha de leito mapeada e dividida por secções de acordo com as diferentes fases de incisão do vale, interpretadas nos gráficos de elevação e profundidade por distância (respetivamente de cima para baixo).

suficiente para preencher o depósito adjacente.

Discussão e trabalho futuro: Dos resultados preliminares, destaca-se o valor de L calculado para a extensão máxima do vale. Para tentar justificar estes diferentes parâmetros (porosidade e taxa de erosão), será tido em conta toda a erosão ocorrida dentro da cratera (posterior a sua formação). Será também estudada a extensão original do depósito, que vai além do cartografado inicialmente neste trabalho (ex. Kodiak Butte, Gupta et al., 2022). Posteriormente será incorporada a informação sobre os diferentes *knickpoints* conhecidos (Duran et al., 2019), de forma a tentar explicar as diferentes secções visíveis na Fig. 1. Será ainda testada a hipótese de que as descontinuidades identificadas em Jezero possam ser reconhecidas noutros sistemas de drenagem, avaliando a possível existência de uma paleo-linha de costa em Marte no final do Noaquião.

Agradecimentos: CITEUC (UID/Multi/00611/2021&POCI-01-0145-FEDER-006922), FCT (2021.05116.BD & CEECIND/02981/2017) e Laboratório de Computação Avançada da UC pelos recursos informáticos disponibilizados.

Referências

- Di Achille, G., & Hynek, B. M. (2010a). Deltas and valley networks on Mars: Implications for a global hydrosphere. In *Lakes on Mars* (pp. 223–248). Elsevier.
- Pan, L., Carter, J., Quantin-Nataf, C., Pineau, M., Chauviré, B., Mangold, N., Le Deit, L., ... (2021). Voluminous silica precipitated from martian waters during late-stage aqueous alteration. *Planetary Science Journal*, 2(2).
- Goudge, T. A., Mohrig, D., Cardenas, B. T., Hughes, C. M., & Fassett, C. I. (2018). Stratigraphy and paleohydrology of delta channel deposits, Jezero crater, Mars. *Icarus*, 301, 58–75.
- Fassett, C. I., & Head, J. W. (2005). Fluvial sedimentary deposits on Mars: Ancient deltas in a crater lake in the Nili Fossae region. *Geophysical Research Letters*, 32(14), 1–5.
- Mangold N., & Quantin-Nataf C. (2021). Perseverance rover reveals an ancient delta-lake system and flood deposits at Jezero crater, Mars. *Science*.
- Quantin-Nataf, C., Holm-Alwmark, S., Lasue, J., Calef, F. J., ... (2021). The Complex Exhumation History of Jezero Crater Floor Unit. *52nd Lunar and Planetary Science Conference*.
- Di Achille, G., & Hynek, B. M. (2010b). Ancient ocean on Mars supported by global distribution of deltas and valleys. *Nature Geoscience*, 3(7), 459–463.
- Duran, S., Coulthard, J., & Baynes, E. R. C. (2019). Knickpoints in Martian channels indicate past ocean levels. *Scientific Reports*, 9(1).
- Gupta, S., Mangold, N., Bell, J. F., Gasnault, O., Tarnas, J. D., Sholes, S., ... (2022). A Delta-Lake System at Jezero Crater (Mars) from Long Distance Observations. In *53rd Lunar and Planetary Science Conference*.
- Vaz, D. A., Di Achille, G., Hynek, B. M., Nelson, W., & Williams, R. M. E. (2020). Martian fan deposits: Insights on depositional processes and origin from mass balance survey. *Earth and Planetary Science Letters*, 533.

Use of multispectral images in the identification of geological features in the Estremoz-Barrancos sector

Utilização de imagens multiespectrais na identificação de características geológicas do setor Estremoz-Barrancos

M. Silva (1), P. Nogueira (2), M. Gonçalves (3), and R. Henriques (4)

- (1) Departamento de Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra, Rua Romão Ramalho 59, 7000-761, Évora, Portugal, marcelogs@uevora.pt
- (2) Departamento de Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra, Rua Romão Ramalho 59, 7000-761, Évora, Portugal
- (3) Departamento de Geologia e IDL, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C6, Piso 4, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal
- (4) Instituto de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, Braga, Portugal

Sumário: É proposta uma metodologia para a caracterização litológica do Sector Estremoz-Barrancos, utilizando imagens multiespectrais dos satélites Landsat-8, Sentinel-2 e ASTER. O índice de vegetação por diferença normalizada é calculado e utilizado para filtrar a vegetação, e é feita uma análise de componentes principais (PCA). Utilizando os gráficos binários da PCA, definem-se novos índices de bandas. Os índices coincidem com índices referenciados bibliograficamente, como os utilizados na identificação de óxidos de ferro e minerais OH, e identificam estruturas geológicas, como as pedreiras de mármore no Anticlinal de Estremoz, e os contactos litológicos no sinclinal de Valência de Mombuey.

Palavras-chave: NDVI, PCA, Índice de bandas, Anticlinal de Estremoz, Sinclinal de Valencia de Mombuey

Keywords: NDVI, PCA, Band ratio, Estremoz Anticline, Valencia de Mombuey syncline

A workflow for the identification of features in the Estremoz-Barrancos Sector is proposed using images from Landsat-8, Sentinel-2, and ASTER satellites. A first step of removing the pixels that are influenced by the vegetation is followed by performing a Principal Component Analysis (PCA). The results are used to define band ratios that are useful for the geological characterization.

The study area is part of the Barrancos-Hinojales domain, in the Ossa-Morena Zone. The units comprise schists, psammites, with quartzite intercalations, culminating in flyschoid formations. The Estremoz Anticline in the NW region of the study area is composed of black schists, volcanic rocks, dolomites, and a volcano-sedimentary-limestone complex (Araújo, 2013). The latter unit is exploited in the SE flank of the anticline for marble as ornamental rock.

Selected multispectral scenes from Landsat-8 (L8), Sentinel-2 (S2) and ASTER were used, see Table I. The scenes take in account its suitability for image analysis, including low cloud coverage and acquisition in the dry season, hence with a bigger area of exposed soil. Landsat-8 and Sentinel-2 pixel values are in the surface reflectance and bottom-of-atmosphere format, respectively. ASTER scenes were converted from

radiance to Top of Atmosphere reflectance using the Semi-Automatic Classification Plugin in QGIS.

Table I – Study dataset

Satellite	Acquisition date(s)	Data level	Pixel (m)	Bands used
Landsat-8	14/08/2018	L2SP	30	1-7
Sentinel-2	23/07/2021	L2A	10	1-9, 11, 12
ASTER	29/06/2001 30/06/2002	L1T	15	1-9

The mosaiced images were clipped (Work images) to the limits of the study area, *i.e.*, the Estremoz-Barrancos Sector.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is calculated using the Red and Near-Infrared bands. The NDVI values are plotted in histograms and used to identify the range of values that correspond to bare soil and rock:

Landsat-8: NDVI →]0 – 0.10]

Sentinel-2: NDVI →]0 – 0.15]

ASTER: NDVI →]0 – 0.10]

The pixels from these intervals are selected, and the resulting masked images (Masked images) account for

5.1%, 6.1% and 8.3% of the study area.

Principal Component Analysis is performed on both Work and Masked images for dimension reduction. Table II represents the first three PCs.

Table II – Explained variances of Principal Components

Satellite	Image	PC1	PC2	PC3
Landsat-8	Work	87.0	8.3	3.8
	Masked	91.7	6.5	1.1
Sentinel-2	Work	98.2	1.2	0.4
	Masked	86.2	7.6	2.7
ASTER	Work	89.3	5.2	3.5
	Masked	89.0	6.8	3.1

In all the Work images PC1 explains 87% or more of the variance. This is mostly explained by the influence of the vegetation, *i.e.*, agriculture, forests and shrublands identified in the area.

In the Masked images PC1 explains between 86% and 92% of the variance, and the identified features include: i) Soil: Ploughed land and Exposed soil; ii) Exposed rocks: quarries, outcrops, and water margins; and iii) Built-up: cities and roads.

In the Masked images Soil is distinguishable in all the PCs. Exposed rocks are identifiable in PC1 maps. Built-up is observed in PC1 and PC3.

Ploughed land is better identified in PC1 and PC2 in ASTER satellite, whereas Exposed soil is observable in PC1 and PC3 from all the satellites.

PC loading plots reveal how the bands are related to each other and how much they influence the PC. The

selection of bands with contrasting behaviour allows the definition of band ratios. Some of the obtained band ratios match ones that are mentioned in the literature (van der Werff & van der Meer, 2016), whereas others are herein newly proposed.

The most relevant band ratios are a) 7/5, 12/(8A+9), and 4/8; and b), 6/7, 11/12, and 4/9, for Landsat-8, Sentinel-2, and ASTER, respectively.

The set a) accurately highlights the marble quarries in the Estremoz Anticline and separates them from nearby localities (*i.e.*, Built-up). The set b) identifies the boundary between Devonian and Ordovician units in Valencia de Mombuey, Spain.

In summary, masking the images using a vegetation index permitted the reduction of data by more than 90%, enabling the formation of three groups: Soil, Exposed rocks and Built-up. PCA maps emphasize specific groups, which can be used to select the pixels of each one. However, since there is a possible overlap of the defined features another approach is advisable, such as creating maps based on band ratios that are tailored from PCA results. For each satellite, two of the proposed band ratios accurately described the marble quarries from the Estremoz Anticline and successfully separate lithological units in the Valencia de Mombuey area, thus revealing potential for regional characterization of geological features.

Future works will combine the herein proposed approach with machine learning and artificial intelligence methods to further discriminate the geological features.

Acknowledgments: The authors acknowledge financial support of Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT; Portuguese Science and Technology Foundation) through the PhD grant PRT/BD/153588/2021 promoted by Agência Espacial Portuguesa (PTSpace; Portuguese Space Agency), and the funding provided by the Institute of Earth Sciences (ICT) through the references UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020.

References

- Araújo A, Piçarra, J.M., Borrego, J., Pedro, J., & Oliveira, J.T. (2013) As Regiões Central e sul da Zona de Ossa Morena. Mineralizações no sector português da Zona de Ossa–Morena. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. & Kullberg, J. C., eds. Geologia de Portugal, vol. 1, 509–550. Lisboa: Escolar Editora
- Copernicus (2021) Sentinel-2 Products Specification Document, REF: S2-PDGS-TAS-DI-PSD, version 14.6.
- Duda, K & Daucavage, J. (2020) Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Level 1 Precision Terrain Corrected Registered At-Sensor Radiance Product (AST_L1T), AST_L1T Product User's Guide, version 1.1, United States Geological Survey (USGS), USGS EROS Data Center, Sioux Falls, South Dakota.
- Sayler, K. (2022) Landsat 8 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide, version 2.0, United States Geological Survey (USGS).
- Van der Werff, H. & Van der Meer F. (2016) Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI Provide Data Continuity for Geological Remote Sensing, *Remote Sensing*, 8, 883; doi:10.3390/rs8110883

Grandes ripples eólicos em Marte: mecanismos de formação e significado paleoambiental

Meter-scale eolian ripples on Mars: formation mechanisms and paleoenvironmental significance

D. A. Vaz (1), S. Silvestro (2,3), M. Chojnacki (4) e D. C. A. Silva (1)

- (1) CITEUC, Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (davidvaz@uc.pt)
- (2) INAF, Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli, Italia
- (3) SETI Institute, Carl Sagan Center, Mountain View, CA, USA
- (4) Planetary Science Institute, Lakewood, CO, USA

Summary: Eolian processes on Mars form unique bedforms which are not yet fully understood. Here we focus on the meter-scale dark-toned ripples which cover dunes across the planet. We present a new technique for the characterization of these bedforms, and we perform a global wavelength survey. We assess different models that relate the wavelength of these bedforms and atmospheric density, and we discuss the importance of establishing a robust relation between these variables as a tool to explore paleoenvironmental conditions on Mars.

Key words: large Martian ripples, bedform wavelength, eolian processes, Mars, remote sensing

Palavras-chave: grandes ripples marcianos, comprimento de onda de estruturas sedimentares, processos eólicos, Marte, deteção remota

Introdução e objetivos: A superfície de Marte possui grandes extensões cobertas por dunas. Apesar da atual baixa densidade da atmosfera marciana (menos de 1% da densidade da atmosfera terrestre), demonstrou-se a partir de dados orbitais que dunas e outras estruturas sedimentares eólicas continuam ativas (Silvestro et al., 2010). Nomeadamente ripples de grandes dimensões (~1-5 m de espaçamento entre crestas e com 5-40 cm de altura) que cobrem as dunas e outras superfícies deposicionais eólicas. Dados *in situ* adquiridos pelo rover *Curiosity*, revelaram que estes ripples de grandes dimensões estão por sua vez cobertos por ripples de dimensão centimétrica, semelhantes aos ripples eólicos terrestres (Lapotre et al., 2016).

Os grandes ripples de escala métrica não encontram paralelo nos ambientes eólicos terrestres (Vaz et al., 2017), onde sedimentos bem calibrados dão apenas origem a dois tipos de estruturas: dunas e ripples de impacto de escala centimétrica. A coexistência em Marte de duas escalas de ripples é algo ainda não inteiramente compreendido, existindo duas teorias que procuram explicar qual o mecanismo que controla a sua dimensão. Lapotre et al. (2016) propôs que o comprimento de onda (a distância entre crestas) dos grandes ripples é controlada por uma instabilidade hidrodinâmica (“wind-drag”), à semelhança do que sucede nos ambientes subaquáticos terrestres. Contrariamente, Sullivan et al. (2020) propôs que o mecanismo que limita o seu

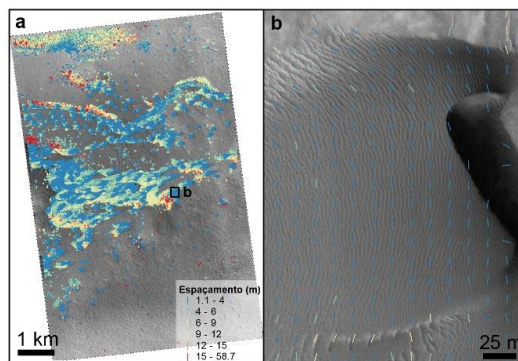


Fig. 8. Exemplo da cartografia das morfologias eólicas e medição do espaçamento entre crestas (cratera de Lyot; ESP_055318_2290).

crescimento é o mesmo que determina a dimensão dos ripples centimétricos (*i.e.* mecanismos de impacto e “splash”). Com base em dois levantamentos que mediram o comprimento de onda dos grandes ripples (Lapotre et al., 2016; Lorenz et al., 2014), verificou-se existir uma relação inversa entre o seu comprimento de onda e a densidade atmosférica, de acordo com as previsões do modelo de “wind-drag”. No entanto, esta interpretação não é consensual (Lapotre et al., 2021; Lorenz, 2020), pelo que neste trabalho temos como objetivos: 1) melhorar as técnicas utilizadas para estimar o comprimento de onda dos ripples (Fig. 1); 2) aplicá-las de forma sistemática e realizar um levantamento global; e 3) reavaliar de que forma os modelos propostos conseguem explicar a relação entre a dimensão dos ripples e a densidade atmosférica.

Dados e métodos: Os levantamentos existentes foram feitos manualmente, consistindo na medição do espaçamento entre crestas em 36 áreas (Fig. 2). Para além de moroso, não existe garantia que as medições obtidas são de facto representativas, isto porque existe variabilidade espacial mesmo a nível local. De forma a ultrapassar estas limitações, desenvolvemos um novo método de cartografia automática, que permite caracterizar vários tipos de estruturas eólicas a partir de imagens adquiridas pelo sensor HiRISE (resolução espacial de 0.25 m/pixel). Este método consiste numa decomposição e caracterização espectral multiescala, seguida de classificação supervisionada utilizando redes neuronais. A técnica aplicada foi validada e os resultados foram comparados com os levantamentos

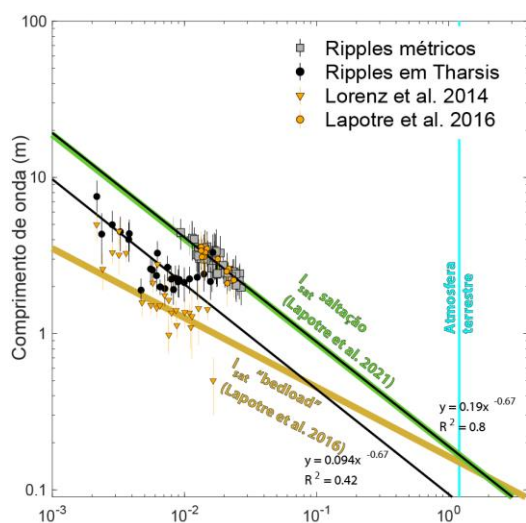


Fig. 9. Comparação das medições globais obtidas (laranja: anteriores levantamentos) com as previsões dos modelos de “wind-drag” assumindo diferentes distâncias de saturação (Lapotre et al., 2021).

anteriores. Avaliou-se o ajuste dos modelos propostos aos novos dados obtidos neste estudo.

Resultados: O método proposto possibilita a cartografia (94% de precisão) e medição contínua do comprimento de onda dos grandes ripples marcianos (medições com um intervalo de confiança de $\pm 12\%$). Existe uma boa correlação entre as novas medições e os valores médios obtidos por Lapotre et al. (2016), diferindo em média 4%. No entanto, identificámos uma subestimação sistemática dos valores reportados por Lorenz et al. (2014) para a região de Tharsis, que em média diferem 73% (Fig. 2).

Discussão e conclusões: As razões que justificam as discrepâncias significativa obtidas para a região de Tharsis não são claras, podendo estar relacionadas com subamostragem e não randomização da localização das medições reportadas em Lorenz et al. (2014).

Na Fig. 2 são apresentados os comprimentos de onda médios obtidos para os grandes ripples em função da densidade atmosférica, bem como as previsões do modelo de “wind-drag”. Estas novas medições demonstram que os ripples localizados na região de Tharsis formam uma população distinta. O modelo que melhor se ajusta considera uma distância de saturação do fluxo sedimentar típica de um mecanismo de saltação, tal como proposto por Lapotre et al. (2021). Esta relação inversa entre densidade atmosférica e a dimensão dos ripples implica que a análise do registo sedimentar marciano poderá dar-nos indicação das condições paleoambientais. Nomeadamente, esta relação pode ser utilizada para caracterizar a diminuição da densidade atmosférica ao longo da história geológica marciana, a partir da análise da estratigrafia eólica que os rovers têm vindo a estudar na superfície.

Agradecimentos: D. V.: CITEUC (UID/Multi/00611/2021&POCI-01-0145-FEDER-006922), FCT (CEECIND/02981/2017) e Laboratório de Computação Avançada da UC pelos recursos informáticos disponibilizados. M. C. e S.S.: “NASA Mars Data Analysis Program Grant 80NSSC20K1066”.

Referências

- Lapotre, M. G. A., Ewing, R. C., & Lamb, M. P. (2021). An Evolving Understanding of Enigmatic Large Ripples on Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126(2), 1–8.
- Lapotre, M. G. A., Ewing, R. C., et al. (2016). Large wind ripples on Mars: A record of atmospheric evolution. *Science*, 353(6294), 55–58.
- Lorenz, R. D. (2020). Martian Ripples Making a Splash. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 125(10), 12–15.
- Lorenz, R. D., Bridges, N. T., Rosenthal, A. A., & Donkor, E. (2014). Elevation dependence of bedform wavelength on Tharsis Montes, Mars: Atmospheric density as a controlling parameter. *Icarus*, 230, 77–80.
- Silvestro, S., Fenton, L. K., Vaz, D. A., Bridges, N. T., & Ori, G. G. (2010). Ripple migration and dune activity on Mars: Evidence for dynamic wind processes. *Geophysical Research Letters*, 37(20), L20203.
- Sullivan, R., Kok, J. F., Katra, I., & Yizhaq, H. (2020). A Broad Continuum of Aeolian Impact Ripple Morphologies on Mars is Enabled by Low Wind Dynamic Pressures. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 125(10), 1–39.
- Vaz, D. A., Silvestro, S., Sarmiento, P. T. K., & Cardinale, M. (2017). Migrating meter-scale bedforms on Martian dark dunes: Are terrestrial aeolian ripples good analogues? *Aeolian Research*, 26, 101–116.

SESSÃO CIENTÍFICA 17 (SC_17)
(Património Geológico e Geoconservação)

Conveners: José Brilha; Mário Cachão

A unificação dos inventários de geossítios como estratégia para a geoconservação em Portugal

Merging geosite inventories as a geoconservation strategy in Portugal

R. Aires (1)*, S. Machado (2), P. Pereira (1), J. X. Matos (2) e J. Brilha (1)

(1) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal, pg46750@uminho.pt*

(2) Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., Portugal

Summary: *The unification of the two main geosites inventories developed in Portugal (University of Minho and LNEG) is important for the Portuguese geological community, for land use planning and nature conservation procedures. This task aims to reinforce the need of continuing the efforts for a geoconservation strategy in Portugal, stressing the need of the protection of the Portuguese geoheritage and its recognition within the official nature conservation institutions. In this work, the methodological setup of the inventories' fusion is presented, with emphasis on the definition of information fields and the management of web databases.*

Key words: *geosites inventory, geoconservation, geoheritage.*

Palavras-chave: inventário de geossítios, geoconservação, património geológico.

1. Introdução

A geoconservação tem vindo a ser debatida na comunidade geológica portuguesa desde a década de 1990. Uma das preocupações iniciais deste debate centrava-se na ausência de uma estratégia nacional para a proteção de locais de interesse geológico (Brilha, 2005). Neste âmbito, salientava-se a inexistência de um inventário do património geológico do território, o qual deve ser a primeira etapa para o desenvolvimento de uma estratégia nacional de geoconservação (Brilha et al., 2006).

Nos anos 2000, foram implementados dois inventários que procuraram suprir esta lacuna: a base de dados Geo-Sítios do atual Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) (Ramalho, 2005) e o Inventário Nacional de Geossítios coordenado pela Universidade do Minho (Brilha et al., 2008). Outras iniciativas como o site "natural.pt" do Instituto da Conservação da Natureza e Florestas (ICNF) e o "Roteiro das Minas e Pontos de Interesse Mineiro e Geológico de Portugal" formalizado pela Direção Geral de Energia e Geologia, contribuíram para disseminação do património geológico e mineiro portugueses.

2. Inventários de geossítios

A existência de dois inventários de âmbito nacional com diferentes metodologias, objetivos e sistemas de avaliação tem levado, em muitas situações, a

indefinição e confusão quanto ao reconhecimento dos mesmos pelos seus beneficiários (municípios, gabinetes de estudos de impacto ambiental, professores, público em geral). Uma parte dos geossítios está considerada em ambos os inventários e outra parte apenas num deles, devido a diferenças metodológicas relacionadas com a relevância dos geossítios e com a cobertura total do território nacional. O inventário de geossítios coordenado pela Universidade do Minho (disponível em <http://geossitios.progeo.pt>) resultou do projeto de investigação financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) entre 2007 e 2010 denominado "Identificação, caracterização e conservação do património geológico: uma estratégia de geoconservação para Portugal" (PTDC/CTE-GEX/64966/2006). Este inventário, que envolveu toda a comunidade geológica nacional, baseou-se na metodologia preconizada pela ProGEO – Associação Internacional para a Conservação do Património Geológico, com definição de categorias temáticas representativas da geodiversidade de todo o território nacional e com a seleção de geossítios de relevância nacional e internacional baseada exclusivamente no seu valor científico (Brilha et al., 2008). Numa primeira fase, foram definidas 27 categorias temáticas e inventariados 325 geossítios, os quais foram também avaliados quantitativamente quanto ao valor científico e à vulnerabilidade (Brilha, 2010).

O inventário do LNEG foi criado no âmbito do projeto “Geo-Sítios – Inventário dos Sítios com Interesse Geológico”, constituindo um catálogo que inclui geossítios e locais com interesse geológico (Ramalho, 2005). É uma base de dados do património geológico de relevância local, regional, nacional e internacional, disponibilizada no Geoportal do LNEG (<https://geoportal.lneg.pt>). Para além do valor científico, os valores turístico, educativo, cultural, paisagístico e estético são também considerados, aplicando-se ainda uma avaliação qualitativa dos valores referidos e da vulnerabilidade dos geossítios. No sentido de se constituir um inventário único dos geossítios de Portugal e de aproveitar os pontos fortes de ambos os inventários, está em curso a unificação dos inventários, coordenada pelas duas instituições (LNEG e Universidade do Minho). Pretende-se, assim, reforçar um instrumento de suporte a iniciativas de geoconservação, com uma base global e consensual, de acesso livre e em constante atualização.

3. Unificação de inventários

Para a fusão dos inventários foram analisadas as duas bases de dados, com a posterior reestruturação, modificação e adição de campos para o formato implementado na nova estrutura de dados. Neste processo, houve o cuidado de não se perder nenhuma informação de cada um dos inventários originais. Seguidamente, recorreu-se à revisão dos geossítios repetidos em ambos os inventários (66), unindo-se informações comuns e sobrepostas nas duas fontes. Foram mantidas especificidades metodológicas de cada inventário (como, por exemplo, quantificação do valor e da vulnerabilidade), adicionando-se novos campos importantes para a gestão dos geossítios (como, por exemplo, delimitação do geossítio).

A nova base de dados será alojada no GeoPortal do LNEG, beneficiando do já existente suporte cartográfico como plataforma de pesquisa.

4. Conclusões

A nova versão do inventário do património geológico de Portugal considera as principais características dos inventários que lhe estão subjacentes: a inclusão dos geossítios de relevância nacional e internacional, ou seja, aqueles que possuem valor científico elevado; a inclusão de outros locais de interesse geológico com menor valor científico mas com outros tipos de valor, com relevância regional ou local; a cobertura de todo o território nacional, incluindo Açores e Madeira; a cobertura de todos os elementos da geodiversidade, expressa por categorias temáticas e por tipo de património geológico (litológico, mineralógico, geomorfológico, paleontológico, etc.); o livre acesso e disponibilização dos dados com informação geográfica em ambiente SIG (sistema de informação geográfica); a possibilidade de solicitação para integração de geossítios no inventário, através de formulário próprio. Numa próxima etapa pretende-se rever a avaliação quantitativa dos valores dos geossítios e da sua vulnerabilidade e proceder à sua delimitação, passos essenciais para suportar estratégias de gestão, que incluem iniciativas de proteção, valorização e monitorização.

Com este projeto, espera-se contribuir para a melhor organização dos dados do património geológico e para o seu uso em políticas de conservação da natureza e de ordenamento do território.

Agradecimentos: Ao Pedro Patinha, do LNEG, pelo apoio na implementação do novo inventário no Geoportal do LNEG.

Referências

- Brilha, J. (2005). *Património Geológico e Geoconservação: a Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica*. Viseu: Palimage Editores.
- Brilha, J. (2010). Enquadramento legal de suporte à proteção do património geológico em Portugal. In: J.M. Cotelos, A. Ribeiro, L. Mendes Victor, F. Noronha, M. Magalhães Ramalho (Eds.). *Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História*. Associação Portuguesa de Geólogos, Volume II, 443-450.
- Brilha, J. et al. (2006). O inventário nacional do património geológico: abordagem metodológica e resultados. *e-Terra*, vol. 18, nº 1.
- Brilha, J., Barriga, F., Cachão, M., Couto, M. H., Dias, R., Henriques, M. H., Kullberg, J. C., Medina, J., Moura, D., Nunes, J. C., Pereira, D., Pereira, P., Prada, S. & Sá, A. (2008). Geological heritage inventory in Portugal: implementing geological frameworks. *5th Conservation of the Geological Heritage Abstracts*. Croatia: Rab.
- Ramalho, M. M. (2005). O projecto Geo-sítios e a divulgação do património. *Geonovas* nº19, 79-81.

Brecha da Arrábida, conglomerados de Ota, Espejón e Montserrat: gênese, exploração e usos no património cultural da Península Ibérica

Arrábida breccia, Ota, Espejón and Montserrat conglomerates: genesis, exploration and uses in the cultural heritage of the Iberian Peninsula

E. Álvarez Areces (1), J. C. Kullberg (2), A. Alonso-Jiménez (3) e A. Prego (4)

- (1) Instituto Geológico y Minero de España CN IGME-CSIC, Madrid, Espanha e GeoBioTec - polo FCT e.alvarez@igme.es
- (2) Departamento Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, e GeoBioTec - polo FCT, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica
- (3) Instituto Geológico y Minero de España CN IGME-CSIC, Madrid, Espanha
- (4) ES Dr. José Afonso, Seixal, Portugal.

Summary: *The use of four conglomerate rocks in the Iberian Peninsula is confirmed in the decorative programs of numerous historic buildings. In Portugal, Arrábida Breccia and the Ota conglomerates, in Spain the Espejón and Montserrat conglomerates, some of them used since Roman times. Its genesis, geology, exploitations and patrimonial uses are reviewed in this article.*

Key words: *Arrábida Breccia, Ota, Espejón and Montserrat conglomerates, Genesis, Cultural Heritage.*

Palavras-chave: Brecha da Arrábida, Conglomerados da Ota, de Espejón e de Montserrat, Génese, Património Cultural

A utilização de rocha ornamental e, concretamente, de conglomerados, é frequente como elementos decorativos de inúmeros edifícios históricos. A qualidade litológica, a sua variedade cromática e o seu carácter estético depois de polidas, são algumas das características que fizeram destas rochas uma das mais apreciadas desde os tempos romanos.

Na Península Ibérica destacam-se quatro materiais conglomeráticos, cuja gênese, exploração e utilização, serão desenvolvidas neste artigo. A Brecha da Arrábida e o Conglomerado de Ota em Portugal, e os conglomerados de Espejón e Montserrat em Espanha (Fig. 1).

A Brecha da Arrábida, do Jurássico Superior (Oxfordiano Superior), corresponde a um conglomerado composto por clastos carbonatados de diversas cores, cimentados por um carbonato argiloso ferruginoso vermelho. Foram-lhe atribuídas diversas designações, incluindo Pedra do Jaspe, Vermelho antigo, Grés vermelho, Conglomerado d'Arrábida, Mármore mosaico da Arrábida e Brechas de Portugal. Corresponde a um carso fossilizado que marca uma das mais importantes discordâncias da Bacia Lusitaniana.

O conglomerado de Ota, do Jurássico Superior (base do Kimmeridgiano), corresponde a um conglomerado constituído por clastos carbonatados, maioritariamente negros, agregados por um cimento carbonatado, amarelado, claro. Correspondem ao desmantelamento da plataforma da Ota, durante o Kimmeridgiano (Leinfelder, 1987), associada à brusca

ativação do bordo este da Bacia Lusitaniana e consequente efeito de *rift shouldering*.

O conglomerado de Espejón, do Jurássico Superior (Titoniano), também denominado "Jaspe de Espejón" é um conglomerado polimítico de clastos centimétricos e coloração variada, envoltos por uma escassa matriz micrítica vermelha. Os clastos apresentam uma natureza predominantemente carbonatada, com variações na quantidade de óxidos de ferro e também são identificados quartzos monocristalinos com clastos subarredondados a subangulares. As litologias mais espessas e fortemente cimentadas, formam corpos de geometria em canal num ambiente sedimentar correspondente a planície de inundação.

Os conglomerados de Montserrat, do Paleogénico inferior a médio, de carácter continental, relacionados com o contínuo fornecimento de materiais grosseiros provenientes de norte, aquando da ascensão da cadeia pirenaica, constituem uma fácies característica da borda sudeste da Depressão Terciária do Ebro. São geralmente heterométricos e carbonatados a oeste, resultantes do desmantelamento da bacia mesozoica subpirenaica, e poligénicos com materiais do soco antemesozóico a este.

A exploração destes materiais corresponde a pedreiras a céu aberto. No caso da Brecha da Arrábida, as pedreiras, todas inativas têm, como o respetivo mapeamento, uma distribuição geográfica descontínua em torno dos núcleos das Serras do Formosinho e de S. Luís, e com espessuras não ultrapassando os 20m.

No caso dos conglomerados de Ota, a ocorrência está limitada a um conjunto de afloramentos na região de Alenquer (Serras da Ota e da Atouguia) e à exploração numa pedreira ativa, de dimensão média-grande e as reservas são consideradas como grandes.

No caso espanhol, o Conglomerado de Espejón é explorado nos municípios de Espeja de San Marcelino, Espejón e Cantalucia, na província de Soria, e Huerta del Rey, em Burgos. As suas pedreiras foram profundamente estudadas e datadas da época romana com uso prolongado ao longo dos séculos.

No caso do conglomerado de Montserrat, em Catalunha, é extraído de pequenas pedreiras no contexto da Serra de Montserrat.

Quanto às suas utilizações e representação no Património Histórico, a Brecha da Arrábida foi utilizada como pedra estrutural, desde o período romano até cerca do século XV e é utilizada para fins ornamentais desde então, sendo utilizado nos estilos escultórico e decorativo do Gótico Tardio e Manuelino portugueses, bem como no Barroco. Pela sua importância, foi designado Heritage Stone Stone (HS) pela IUGS, em Outubro de 2022.

O conglomerado de Ota, é utilizado quer em revestimentos interiores, como exteriores, em geral em zonas abrigadas, dada a solubilidade em especial por chuvas em atmosferas urbanas poluídas.

O Conglomerado de Espejón está amplamente distribuído na Hispânia romana e Tardo-antiga e, posteriormente, a partir do séc. XVI, no programa

decorativo de edifícios como o Mosteiro de El Escorial e edifícios ligados à dinastia Bourbon como o Palácio Real ou os Sítios Reais de Madrid, no séc. XVIII.

Finalmente, o conglomerado de Montserrat atinge a sua expressão máxima nos elementos arquitetónicos e decorativos do Mosteiro de Montserrat, entre outros.

Em conclusão, os paralelismos estéticos, por vezes até difíceis de diferenciar entre estes quatro tipos de rochas ornamentais ibéricas, assim como das suas géneses e das suas utilizações como rochas decorativas, ao longo dos séculos, são por demais evidentes. São objeto de análise pormenorizadas no artigo resultante.

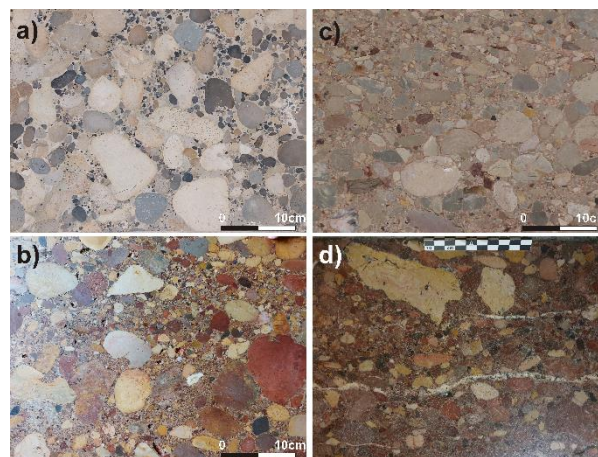


Fig. 1. Fotografias de detalhe dos conglomerados, tiradas com iluminação diferente, a). Conglomerado de Ota (Kullberg, J.C.), b). Brecha da Arrábida (Kullberg, J.C.), c). Conglomerado de Montserrat (Kullberg, J.C.), d). Conglomerado de Espejón (García-Entero, V.).

Agradecimentos: À doutora Virginia García Entero (UNED) por nos fornecer a bibliografia de referência e fotografias detalhadas correspondentes ao conglomerado Espejón. Os autores agradecem ao Projeto FCT nº UIDB/04035/2020 (GeoBioTec) e ao IGME pela disponibilização de tempo para realizar o trabalho.

Referências:

- García-Entero, V. (2020). Mapping the Marmor Cluniensis in Hispania. Use of the main ornamental peninsular color Stone in the Iberia Peninsular inland in roman times. In: García-Entero, V., Vidal Álvarez, S., Gutiérrez García-M, A. & Aranda González, R. (eds.). *Landscapes and stories around the Stone*. Monografías de Prehistoria y Arqueología. UNED. 1., 117-190.
- Kullberg, J.C., Coelho, C. & Prego, A. (2014). Geological and Cultural Routes of the Arrábida Breccia: A Contribution to the Nomination of Arrábida for UNESCO's Mixed World Heritage List. In: Rocha, R., Pais, J., Kullberg, J. & Finney, S. (eds). *STRATI 2013*. Springer, Cham.
- Leinfelder, R.R. (1987). Formation and Significance of Black Pebbles from the Ota Limestone (Upper Jurassic, Portugal). *Facies* 17, 159-170.
- Peón, A., Rosell, J., Trilla, J., Obrador, A., Alonso, F., Ramirez del Pozo, J. & Cabañas, J. (1975). Mapa Geológico de España. Sabadell. Hoja 392. Instituto Geológico y Minero de España. Memoria.
- Rodríguez Fernández, R., García-Espina, R., Suárez Rodríguez, A., Armenteros, I., Barba Regidor, P., Herrero, A., Galán de Frutos. L.A., Baltuille, J.M., Vega Rodera, J. & Granados, L. (2008). Mapa Geológico de España. Peñaranda del Duero. Hoja 347. Instituto Geológico y Minero de España. Memoria.

Contribuição dos municípios para a promoção da geodiversidade: o exemplo da iniciativa Geovaldevez

Contribution of municipalities on the promotion of geodiversity: the example of Geovaldevez initiative

J. Brilha (1), R. Henriques (1), T. Mota (2), D.I. Pereira (1) e P. Pereira (1)

(1) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, Braga, jbrilha@dct.uminho.pt
GEOSITE Lda., Braga

Summary: *The geodiversity concept is slowly gaining social recognition. Municipalities can play an important role in raising the awareness of their communities and tourists about the importance of geodiversity. Arcos de Valdevez municipality in Northern Portugal has developed an initiative for the educative and touristic promotion of the local geodiversity. This initiative includes publications, geological interpretation of trails, an educative kit for teachers, a dedicated website and app, and an interpretative centre where visitors can enjoy 3D and interactive devices to visualize the municipality geodiversity.*

Key words: *geodiversity, municipalities, tourism, education*

Palavras-chave: geodiversidade, municípios, turismo, educação

O conceito de geodiversidade tem vindo a conseguir reconhecimento pela sociedade, como é exemplo o recente estabelecimento pela UNESCO do Dia Internacional da Geodiversidade (Gray et al., 2021). Em Portugal, os municípios têm, entre outras competências, a de assegurar a gestão do território e a salvaguarda dos valores naturais. O Grupo Português da Associação Internacional para a Conservação do Património Geológico (ProGEO) atribui anualmente, desde 2004, o Prémio Geoconservação, ao qual se candidatam municípios que tenham desenvolvido atividade relevante no âmbito do património geológico.

Os 448 km² do município de Arcos de Valdevez distribuem-se entre setores montanhosos que atingem os 1416 m de altitude (no pico da Pedrada, em pleno Parque Nacional da Peneda-Gerês), onde ocorrem vestígios de atividade glaciária e periglaciária e áreas aplanadas junto ao rio Lima, a 10 m de altitude. Para além dos aspetos geomorfológicos, a geodiversidade deste concelho inclui várias fácies de rochas graníticas hercínicas, pontuadas por pequenas manchas de rochas metassedimentares de idade silúrica e numerosos filões de rocha básica, aplito-pegmatito, pegmatito e quartzo. As formações sedimentares do Quaternário estão relacionadas com a dinâmica dos glaciares e dos rios.

Com vista à promoção turística e educativa da geodiversidade do concelho, o município de Arcos de Valdevez desenvolveu a iniciativa Geovaldevez. Esta iniciativa integra diversos tipos de ações e produtos,

especialmente dirigidos aos visitantes e comunidade escolar.

A. Atlas da geodiversidade

O atlas da geodiversidade de Arcos de Valdevez é uma publicação com linguagem adequada a não especialistas, ilustrada com mapas, fotografias e esquemas, para dar a conhecer a geodiversidade do concelho (Pereira et al., 2021). O atlas apresenta os principais aspetos relacionados com relevo, rochas, estruturas tectónicas, paisagem granítica e vestígios glaciários e inclui trilhos pedestres interpretados com informação sobre geodiversidade e biodiversidade.

B. Interpretação de trilhos pedestres

Foram desenvolvidos conteúdos informativos e interpretativos para cinco trilhos pedestres, quatro deles previamente existentes. Foram colocados painéis informativos com conteúdos genéricos no início dos trilhos e painéis interpretativos, em locais selecionados pela sua relevância geológica. Ao longo dos trilhos existem pequenas placas com códigos QR que permitem aos visitantes obter informação *on-line*, a partir do *website*, e *off-line*, numa aplicação disponível para dispositivos móveis.

C. Centro interpretativo da Peneda

Uma sala temática dedicada à geodiversidade do município foi concebida num dos edifícios anexos ao santuário de N^a Senhora da Peneda, disponibilizando dois equipamentos principais: um dispositivo com maquete tridimensional com o relevo do município, com a dimensão de 120 cm x 140 cm, na qual se projeta informação geográfica selecionada pelo

visitante e que inclui toponímia e divisão administrativa, carta geológica, carta topográfica, hipsometria, hidrografia, unidades geomorfológicas e geossítios, ao mesmo tempo que informação complementar é projetada na parede (Fig. 1); um dispositivo de visitação virtual com recurso a um dispositivo HMD (*head-mounted display*; óculos VR), no qual são exploradas imagens panorâmicas 360° de vários locais de interesse, de modo imersivo. Na sala estão também expostas amostras das rochas que afloram no concelho.

D. Divulgação eletrónica

Os conteúdos sobre a geodiversidade do município foram configurados para serem disponibilizados *online* (<https://geovaldevez.arcosdevaldevez.pt>). É igualmente oferecida aos visitantes uma aplicação para dispositivos móveis permitindo ter acesso a toda a informação, em especial em locais onde não existe cobertura de rede de dados.

E. Atividades educativas

Com vista a promover a vertente educativa da geodiversidade, foi desenvolvido um guia de campo para apoio aos professores que pretendam realizar um itinerário rodoviário especialmente idealizado para aulas de campo. O percurso tem uma duração de quatro horas, ao longo das quais é possível fazer sete paragens em locais de interesse geológico, todas acessíveis por autocarro. Para além deste itinerário, é também sugerido aos professores a realização dos cinco trilhos pedestres referidos anteriormente, sendo apresentadas propostas dos conteúdos educativos a explorar com os estudantes. Os cinco trilhos têm diferentes graus de dificuldade, o que permite o seu aproveitamento por alunos de diversos graus de ensino. Os professores têm ainda a possibilidade de usufruir de pacotes educativos, para uso com os seus estudantes, constituídos pelos mapas geológico e geomorfológico do concelho, uma bússola e uma lupa de bolso.

Estas iniciativas do município de Arcos de Valdevez têm potencial de serem replicadas por outras autarquias, contribuindo para a promoção da geodiversidade local.



Fig. 1. Dispositivo com maquete 3D e projeção dupla no centro interpretativo da Peneda, dedicada à interpretação da geodiversidade do município de Arcos de Valdevez.

Agradecimentos: Município de Arcos de Valdevez pela autorização para a apresentação da iniciativa Geovaldevez no XI Congresso Nacional de Geologia.

Referências

- Gray, M., Brilha, J., Matthews, J., Zwolinski, Z. (2021). Geodiversity, society, and the International Day. Geological Society of America Abstracts, 53, p. 6.
- Pereira, D.I., Brilha, J., Pereira, P., Henriques, R., Mota, T., Alves, C., Faria, F., Gomes, M., Gomes, P. (2021). Atlas da Geodiversidade de Arcos de Valdevez. Município de Arcos de Valdevez.

Património Geológico de Castelo Branco: inventário e valorização no contexto do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO

Geological heritage from Castelo Branco: inventory and valuation in the frame of the Naturtejo UNESCO Global Geopark

C. N. Carvalho (1,2) e J. C. Rodrigues (2)

- (1) Serviço de Geologia – Gabinete da Presidência, Município de Idanha-a-Nova. RG2 – Instituto D. Luiz, Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa. E-mail: carlos.praedichnia@gmail.com
(2) Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, Centro Cultural Raiano, 6060-101 Idanha-a-Nova.

Summary: *The Inventory of the Geological and Geomining Heritage of Naturtejo UNESCO Global Geopark includes 34 geosites in the municipal area of Castelo Branco ranking from local/regional to national in relevance. The protection of some of the geosites was in the base for the definition of the Gardunha Regional Protected Landscape and the Barrocal Park, an urban geosite in the city of Castelo Branco. A new geotrail in development at the parish of Monforte da Beira will highlight the geomining heritage, summing up to other geotrails already existing at Sarzedas and Gardunha.*

Key words: *Geological heritage, municipal inventory, protection, valuation, Castelo Branco, UNESCO Global Geopark*

Palavras-chave: Património Geológico, inventário municipal, proteção, valorização, Geoparque Global da UNESCO

O Inventário do Património Geológico e Geomineiro do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO tem vindo a ser publicado e incluído nos PDMs, desde 2009 (Neto de Carvalho et al., 2009; Neto de Carvalho & Rodrigues, 2012a,b; Neto de Carvalho et al., 2013; Vilas Boas et al., 2015). A inventariação do património geológico do concelho de Castelo Branco teve início em 2005 (Neto de Carvalho, 2005; Silva, 2005), tendo sido publicados, até ao momento, inventários parciais (Neto de Carvalho et al., 2011; Rodrigues et al., 2011; Rodrigues & Neto de Carvalho, 2012). A relevância das paisagens graníticas da Serra da Gardunha, descritas desde meados do séc. XIX, é responsável, em grande parte, pelo trabalho desenvolvido, que culminou com a sua proteção como Paisagem Protegida Regional (Ribeiro et al., 2022; Fig. 1).

São 34 os geossítios no concelho de Castelo Branco que constam do Inventário do Geopark Naturtejo, agrupados em tipologias por nós definidas, sendo 13 enquadrados na tipologia Geomorfologia, 6 em cada uma das tipologias Estratigrafia/Sedimentologia e Tectónica, 5 referentes a Património Geomineiro, 3 de Hidrogeologia e 1 de Paleontologia. O Vale da Medronheira-Monte dos Cancelos encontra-se no inventário nacional de geossítios da ProGEO-Portugal. O Parque Natural do Tejo Internacional, integrado também em Reserva da Biosfera da UNESCO, abrange parte do concelho de Castelo Branco e inclui dois dos seus geossítios. As Morfologias Graníticas da Serra da

Gardunha e o Complexo Mineiro de Monforte da Beira são dois geomonumentos de referência do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO (Neto de Carvalho, 2005, 2021).

Em termos de valorização do Património Geológico de Castelo Branco destaca-se o investimento de mais de 1,5 milhões de euros no Parque do Barrocal (Fig. 2), protegendo a matriz paisagística original de 40 ha em contexto urbano, o que lhe permitiu a atribuição de vários prémios internacionais de arquitectura paisagista e o Prémio Geoconservação 2021. Por outro lado, a implementação de percursos pedestres tem possibilitado a interpretação de geossítios, incluindo a Rota da Gardunha e o Caminho do Xisto de Sarzedas, encontrando-se em execução os percursos pedestres de Monforte da Beira e de Monte de S. Martinho.



Fig. 1. Logotipo da Paisagem Protegida Regional da Serra da Gardunha. Área protegida criada em 2014 pelos municípios de Castelo Branco e Fundão ocupa uma área de 10 507,49 ha. Na concelho de Castelo Branco inclui oito geossítios enquadrados na tipologia de Geomorfologia granítica.



Fig. 2. O Parque do Barrocal na cidade de Castelo Branco corresponde ao maior investimento feito até hoje para a valorização da geodiversidade do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO. Com a aquisição de 40 ha, o Município de Castelo Branco encontra-se a desenvolver um projecto de valorização ecológica da paisagem matricial da cidade, como forma de sensibilização para a importância da floresta autóctone na luta contra a perda de biodiversidade e as alterações climáticas.

Agradecimentos: Ao Município de Castelo Branco pelo projecto Parque do Barrocal e pelo novo percurso pedestre em Monforte da Beira. À Junta de Freguesia de Monforte da Beira, na pessoa do seu Presidente, João Ramos, pelo projeto para a valorização do património geomineiro. À Junta de Freguesia de Louriçal do Campo, pelas diversas atividades de divulgação do património geomorfológico da Serra da Gardunha realizadas com a Naturtejo, E.I.M..

Referências

- Neto de Carvalho, C. (2005). Inventário dos georrecursos, medidas de geoconservação e estratégias de promoção geoturística na região Naturtejo. In: C. Neto de Carvalho (Ed.), *Património Paleontológico: da Descoberta ao Reconhecimento – Cruziana’05, Actas do Encontro Internacional sobre Património Paleontológico, Geoconservação e Geoturismo*. Câmara Municipal de Idanha-a-Nova, Idanha-a-Nova, 46-69.
- Neto de Carvalho, C. (2021). Os Geomonumentos do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO. *Açafa Online*, 13, 7-30.
- Neto de Carvalho, C. & Rodrigues, J. (2012a). Património Geológico e Geomineiro de Nisa: caracterização do território e sua integração no Geopark Naturtejo. *Açafa Online*, 5: 91-168.
- Neto de Carvalho, C. & Rodrigues, J. (2012). Património Geológico de Proença-a-Nova: caracterização e gestão no âmbito do Geopark Naturtejo. *Açafa Online*, 5, 178-230.
- Neto de Carvalho, C., Rodrigues, J.C. & Canilho, S. (2011). Património geológico e geomineiro de Monforte da Beira (Castelo Branco): caracterização do percurso pedestre “Caminhos do Ferro de Monforte”. *Açafa-Online*, 4.
- Neto de Carvalho, C., Rodrigues, J.C. & Gonçalves, D. (2013). Património Geológico de Oleiros: inventário de geossítios e propostas para a sua valorização. *Açafa On-line*, 6, 4-61.
- Neto de Carvalho, C., Rodrigues, J.C. & Metodiev, D. (2009). Inventário do património geológico do concelho de Vila Velha de Ródão: contributo para a caracterização do Geopark Naturtejo da Meseta Meridional. *Açafa On-line*, 2, 1-53.
- Ribeiro, S., Neto de Carvalho, C., Figueiredo, A., Oliveira, H., Pinto Gomes, C., Neto, C. & Costa, J.C. (2022). Guia da excursão geobotânica à Serra da Gardunha. *Quercetea*, 13, 5-79.
- Rodrigues, J.C. & Neto de Carvalho, C. (2012). Património geomorfológico da vertente meridional da Serra da Gardunha (Castelo Branco): potencialidades e ameaças. *Geomorfologia 2010. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, 7, APGEOM, Porto, 61-70.
- Rodrigues, J.C., Neto de Carvalho, C. & Chambino, E. (2011). “Há Ouro na Foz!” e outras actividades de divulgação do património geomineiro do Geopark Naturtejo. In: C. Batata (Ed.), *Actas do VI Simpósio sobre Mineração e Metalurgia Históricas no Sudoeste Europeu*. Vila Velha de Ródão, 263-283.
- Silva, R.M. (2005). Geomorfologia granítica da Serra da Gardunha (Fundão). *Geonovas*, 19, 89-114.
- Vilas Boas, M., Neto de Carvalho, C., Rodrigues, J.C. & Valente, A. (2015). Património Geológico de Penamacor: inventário de Geossítios e propostas para a sua valorização. *Açafa Online* 10, 23-72.

Recursos geopatrimoniais de referência do Projeto Geoparque Atlântico (Centro de Portugal)

Selected geoheritage resources of the Atlantic Geopark Project (Central Portugal)

S. C. Custódio (1), M. H. Henriques (2), E. Rosado-González (3), N. M. Vaz (4) e A. A. Sá (5)

- (1) Departamento de Geologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro; Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Portugal; salomec14@gmail.com
- (2) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Portugal
- (3) Departamento de Geologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro; Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Portugal
- (4) Departamento de Geologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro; Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Portugal
- (5) Departamento de Geologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro; Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Portugal

Summary: *The Atlantic Geopark Project corresponds to an emergent stage of a broad project aiming the future establishment of a UNESCO Global Geopark in the central littoral and rural of Portugal (municipalities of Mira, Mealhada, Cantanhede, Penacova, Montemor-o-velho and Figueira da Foz). The geodiversity displayed by this region is special and singular and includes geological heritage representing the opening and closing of the Rheic Ocean, the breakup of Pangea and the opening of the North Atlantic Ocean. Besides the geological heritage with international relevance, the territory also provides geoheritage resources related to particular uses of the local geological features which are relevant to support an application to the Global Geopark Network.*

Key words: *UNESCO Global Geoparks, Portuguese geo-history, Geosites, Geoheritage resources*

Palavras-chave: Geoparques Mundiais da UNESCO, Geo-história de Portugal, Geossítios, Recursos Geopatrimoniais

O património geológico pode ser definido como a porção da geodiversidade do Planeta Terra que apresenta valor que justifica a sua preservação para as gerações futuras (Carcavilla *et al.*, 2007). Neste contexto, tem sido amplamente discutido que o património geológico desempenha um papel relevante para o desenvolvimento socioeconómico de uma região, correspondendo a um recurso geológico equivalente aos recursos minerais e/ou aos recursos energéticos (Cairncross, 2011; Ruban *et al.*, 2022). No entanto, ao invés de ser explorado para obtenção de matéria-prima e/ou energia, os recursos geopatrimoniais são explorados no âmbito científico, educacional e/ou turístico (Sallam *et al.*, 2022). Uma das formas de gestão deste recurso natural pode ser consubstanciada através da criação de geoparques mundiais da UNESCO (UGGps).

Temos, assim, que a existência de um património geológico de valor internacional é o ponto de partida para a criação de um projeto para o desenvolvimento de um território candidato a UGGp. No entanto, tal facto não é suficiente para a obtenção da chancela UGGp. Outros requisitos são necessários, tais como possuir uma área geográfica única e unificada, dispor

de uma estrutura de gestão sólida e apresentar envolvimento efetivo da população local, por forma a permitir a promoção do desenvolvimento económico e da educação, bem como a proteção e a conservação do património natural e cultural do território (UNESCO, 2023).

Este trabalho constitui uma abordagem preliminar de inventário do património geológico do território que corresponde ao Projeto Geoparque Atlântico, localizado no centro litoral de Portugal e com uma área de 1452 km². Foram selecionados seis geossítios, um por cada município que o integra, que permitem reconhecer o registo geológico representativo de algumas das etapas mais emblemáticas dos mais de 600 milhões de anos da história geológica do território, e que incluem a abertura e fecho do Oceano Rheic, a fragmentação do Pangeia e a abertura do Oceano Atlântico Norte, entre outros. Os geossítios selecionados estão apresentados na Tab. I por ordem geocronológica da génese do registo geológico que representam.

Os geossítios abaixo referenciados assumem-se como base de trabalho relativa ao património geológico do território, reveladora do significativo potencial desta

região para um futuro UGGp. Em particular, refira-se o facto de agregar uma das mais completas sequências estratigráficas da história geológica de Portugal.

Em conclusão, este território dispõe de recursos geopatrimoniais que podem permitir, no futuro,

sustentar uma candidatura efetiva à UNESCO. Para esse efeito, já se conta com a AD ELO (Associação de Desenvolvimento Local da Bairrada e do Mondego), como entidade responsável pela gestão territorial.

Tabela I Recursos geopatrimoniais de referência, um por município, no território em estudo (MA - milhões de anos).

	Livraria do Mondego	Sequência do Ordovícico do Buçaco	Cabo Mondego	Ançã	Miradouro do Castelo	Lagoa da Barrinha
Localização	Penacova	Mealhada	Figueira da Foz	Cantanhede	Montemor-o-Velho	Mira
Coordenadas	40° 17' 03" N 8° 15' 50" O	40° 21' 04.5" N 8° 21' 49.9" W	40° 11' 28" N 8° 54' 19" O	40°17'18.1"N 8°32'22.4"W	40°10'32.6"N 8°40'58.1"W	40°27'09.7"N 8°48'04.2"W
Idade	480~450 MA	~458 MA	174~161 MA	~170 MA	~1.80 MA	~0.0056 MA
Descrição	Quartzitos verticalizados pelas forças tectónicas, onde é possível identificar vestígios de uma praia com 450 MA; Epigenia do Rio Mondego	Elo de ligação entre a sequência do Ordovícico do Buçaco e a da Península de Crozon (Bretanha), que permite traçar a evolução varisca do Arco Ibero-Armoricano	Registo contínuo da sedimentação durante o Jurássico médio (GSSP do Bajociano, ASSP do Bathoniano) e evidências do 1º episódio de rifte do Jurássico superior	Registo da instalação da plataforma carbonatada do Proto-Atlântico do Jurássico médio e utilização os recursos gerados (pedra d'Ançã)	Planície aluvial do Baixo Mondego que atraiu diferentes civilizações desde a Antiguidade (fenícios, romanos, cristãos, mouros)	Setor meridional do único <i>haff-delta</i> de Portugal (Ria de Aveiro), que ilustra a complexa interação entre o rio Vouga, o litoral e o ser humano
Relevância	Nacional	Internacional	Internacional	Nacional	Regional	Nacional
Potencial	Turístico	Científico	Científico Educativo	Educativo	Turístico	Turístico
Património	Tectónico Geomorfológico	Estratigráfico	Estratigráfico Paleontológico	Paleontológico	Geomorfológico	Geomorfológico
Tipologia	Área	Secção	Área	Ponto	Miradouro	Ponto

Agradecimentos: Este estudo é financiado pela: i) Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro/ Centro de Geociências com uma Bolsa de Investigação [BI/UTAD/96/2021, ii) Fundos portugueses da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. (Portugal), no âmbito do projeto estratégico UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020 da Unidade de I&D Centro de Geociências (Universidade de Coimbra – Portugal).

Esta investigação é uma contribuição da Cátedra UNESCO de “Geoparques, Desenvolvimento Regional Sustentável e Estilos de Vida Saudáveis”, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, e para as atividades do Comité Português para o Programa Internacional de Geociências (IGCP).

Referências

- Cairncross, B. (2011). The national heritage resource act (1999): can legislation protect South Africa's rare geoheritage resources? *Resources Policy*, 36, 204–213.
- Carcavilla, L., López-Martínez, J. & Durán, J.J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Instituto Geológico y Minero de España, Serie Cuadernos del Museo Geominero, 7, 360p.
- Ruban, D.A., Mikhailenko, A.V. & Yashalova, N.M. (2022). Valuable geoheritage resources: Potential versus exploitation. *Resources Policy*, 77, 102665.
- Sallam, E.S., Ruban, D.A. & Ermolaev, V.A. (2022). Geoheritage resources and new direction of infrastructural growth in Egypt: From geosite assessment to policy development. *Resources Policy*, 79, 103127.
- UNESCO (2023). How to become a geopark. <https://en.unesco.org/global-geoparks/how-to-become-geopark> (última visualização em 18/01/2023).

Inventário nacional do patrimônio geológico do Uruguai: rumo à definição de contextos geológicos

National inventory of the geological heritage of Uruguay: towards the definition of geological frameworks

M. Faraone (1, 2), J. Brilha (2) e C. Goso (3)

- (1) Dirección Nacional de Mineración e Geología – DINAMIGE, 11800 Montevideu, Uruguay. mfaaraone@fcien.edu.uy
- (2) Instituto de Ciências da Terra, Pólo da Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal
- (3) Instituto de Ciências Geológicas, Faculdade de Ciências, Universidade da República, 11400 Montevideu, Uruguay

Summary: *This work aims to be the beginning towards the systematization of knowledge about the geological heritage of Uruguay, which has not been systematically studied up to now. On the occasion of the publication on sites of geological interest in Latin America, the Uruguayan Geological Survey, in collaboration with the University of the Republic, has selected and characterized five representative geosites of the country's large geological structures. Based on this work, it seeks to begin the definition of geological frameworks of relevance to Uruguay, as a strategy for the development of a national inventory of geosites.*

Key words: *Uruguay, Geodiversity, Geological Heritage, Geological Frameworks, Geosites Inventory.*

Palavras-chave: Uruguay, Geodiversidade, Patrimônio Geológico, Contextos Geológicos, Inventário de Geossítios.

Introdução

Por ocasião da publicação especial sobre sítios de interesse geológico na Ibero-América, desenvolvida pelo Grupo de Especialistas em Patrimônio Geológico (GEPG) da Associação Ibero-americana de Serviços de Geologia e Mineración (ASGMI), o Serviço Geológico Uruguaio (Área de Geologia da Dirección Nacional de Mineración e Geología, DINAMIGE), em colaboração técnica com a Faculdade de Ciências da Universidade da República (UdelaR), preparou uma série de textos sobre sítios de interesse geológico no Uruguai.

De acordo com as diretrizes do GEPG, foram selecionados cinco sítios por país, com diferentes interesses geológicos e bem conhecidos na literatura científica ou em trabalhos realizados pela DINAMIGE. No caso particular do Uruguai, optou-se também pela escolha de sítios que, no seu conjunto, fossem representativos das grandes estruturas geológicas do país. Estes foram avaliados usando a metodologia proposta pela ASGMI.

Devido à escassez de estudos sobre o patrimônio geológico uruguaio, onde os inventários de geossítios foram realizados apenas em territórios de geoparques, considerou-se necessário realizar uma avaliação do patrimônio geológico a nível nacional, através do desenvolvimento de um inventário sistemático,

conforme sugerido por Brilha (2016), no que diz respeito às tarefas sequenciais a serem realizadas para inventário em grandes áreas. Assim, tomando como referência os inventários realizados em grandes áreas, tanto a nível nacional (por exemplo: Espanha e Portugal) como a nível regional (por exemplo: Estado de São Paulo, Brasil), decidiu-se utilizar a metodologia proposta pela ProGEO (Associação Internacional para a Conservação do Patrimônio Geológico) e pela IUGS (União Internacional das Ciências Geológicas), que consiste na definição de contextos (ou categorias) geológicos para o país.

A definição dos contextos geológicos do Uruguai foi feita por consenso da comunidade geológica convidada a participar em dois eventos: um encontro realizado com colegas do Instituto de Ciências Geológicas da Faculdade de Ciências (UdelaR), em 21 de setembro de 2022, e um workshop aberto sobre o Inventário do Patrimônio Geológico do Uruguai, realizado no âmbito do X Congresso Uruguaio de Geologia, em 7 de novembro de 2022.

A partir do workshop realizado e das consultas posteriores, foram estabelecidos 15 contextos geológicos.

Contextos geológicos do Uruguai

O Uruguai é um pequeno país no contexto sul-americano, mas com uma geologia complexa e variada, do ponto de vista cronológico e litológico. Possui registos geológicos desde o Arcaico ao Fanerozóico, pelo que o seu território inclui domínios geológicos que representam uma boa parte da história da Terra. Um substrato cristalino pré-câmbrico, parcialmente coberto por uma série de bacias sedimentares fanerozóicas, serve como exemplo.

Os contextos geológicos definidos representam a geodiversidade e a história geológica do território uruguaio. Por exemplo, os *Terrenos Pré-Câmbricos* representam os domínios geológicos incluídos no Cratão Río de la Plata e outros blocos do soco, que possuem uma configuração geral relacionada com os diferentes ciclos orogénicos; As *Bacias sedimentares do Gondwana* representam a evolução das bacias intracratónicas do Gondwana Ocidental, com depósitos sedimentares devónicos e permocarbónicos e depósitos vulcano-sedimentares cretácicos; ou o *Magmatismo Mesozóico* (Fig. 1), que representa os intensos processos magmáticos e tectónicos constituídos pelos derrames basálticos da província magmática do Paraná, enxames de diques e fossas tectónicas com vulcanismo bimodal, associados à abertura do Oceano Atlântico Sul.

Considerações finais

Embora a comunidade geocientífica uruguaia esteja ciente da elevada geodiversidade do país, o estudo do

seu património geológico não foi abordado sistematicamente até ao momento.

O presente trabalho pretende ser o início da sistematização do conhecimento sobre o património geológico do Uruguai, começando pela definição de contextos geológicos, com vista ao desenvolvimento de um inventário nacional de geossítios.



Fig. 1. Geode de ametista do Distrito Gemológico Los Catalanes, geossítio designado na lista dos "Primeiros 100 Sítios do Património Geológico da IUGS", incluído na categoria "Magmatismo mesozóico".

Agradecimentos: A todos os colegas que colaboram na definição dos contextos geológicos e propostas de geossítios para o Uruguai.

Referências

- Brilha, J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage*, 8, 119-134.
- Brilha, J., Andrade, C., Azerêdo, A., Barriga, F.J.A.S., Cachão, M., Couto, H., Cunha, P.P., Crispim, J.A., Dantas, P., Duarte, L.V., Freitas, M.C., Granja, H.M., Henriques, M.H., Henriques, P., Lopes, L., Madeira, J., Matos, J.M.X., Noronha, F., Pais, J., Piçarra, J., Ramalho, M.M., Relvas, J.M.R.S., Ribeiro, A., Santos, A., Santos, V.F. & Terrinha, P. (2005). Definition of the Portuguese frameworks with international relevance as an input for the European geological heritage characterisation. *Episodes*, 28, 177-186.
- Garcia, M.G.M., Brilha, J., Lima, F.F., Vargas, J.C., Pérez-Aguilar, A., Alves, A., Campanha, G.A.C., Duleba, W., Faleiros, F. M., Fernandes, L.A., Fierz, M.S.M., Garcia, M.J., Janasi, V.A., Martins, L., Raposo, M.I.B., Ricardi-Branco, F., Ross, J.L.S., Sallum Filho, W., Souza, C.R.G., Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Brito Neves, B.B., Campos Neto, M.C., Christofolletti, S.R., Henrique-Pinto, R., Lobo, H.A.S., Machado, R., Passarelli, C.R., Perinotto, J.A.J., Ribeiro, R.R. & Shimad, H. (2018). The inventory of geological heritage of the State of São Paulo, Brazil: methodological basis, results and perspectives. *Geoheritage* 10, 239-258. <https://doi.org/10.1007/s12371-016-0215-y>
- García-Cortés, A., Rábano, I., Locutura, J., Bellido, F., Fernández-Gianotti, J., Martín-Serrano, A., Quesada, C., Barnolas, A. & Durán, J.J. (2000). Contextos geológicos españoles de relevancia internacional: establecimiento, descripción y justificación según la metodología del proyecto Global Geosites de la IUGS. *Boletín Geológico y Minero*, 111, 5-38.

Valorização do património através do *Geocaching*: o caso de Ançã

Heritage valuation through *Geocaching*: The Ançã case study

L. F. Garcia (1), P. João (2), S. C. Custódio (3), G. G. Garcia (4) e M. H. Henriques (5)

- (1) Escola Superior de Educação de Coimbra do Instituto Politécnico de Coimbra & Universidade de Coimbra, Centro de Geociências. luizafriedrich89mail.com
- (2) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências
- (3) Departamento de Geologia Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro & Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento Ciências da Terra
- (4) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento Ciências da Terra
- (5) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento Ciências da Terra

Summary: *Geocaching is a worldwide platform used by millions of people interested in playing a treasure hunt outdoor game. It has been proven that this platform can be used as a great tool for promoting territories and knowledge, among others. Ançã is a small village in Coimbra district (central littoral of Portugal) displaying heritage of significant value, both natural (specifically geological heritage) and cultural. The present work aims at developing a GeoTour (a tour using geocaches) at Ançã village focused on its heritage to value it and to guarantee its physical integrity for the future generations, as well as to attract tourists to the territory (geocachers).*

Key words: *Valuation, Natural Heritage, Cultural Heritage, Geocaching.*

Palavras-chave: *Valorização, Património Natural, Património Cultural, Geocaching.*

O *geocaching* é um jogo de caça ao tesouro reconhecido mundialmente, que une a tecnologia de localização e a atividade ao ar livre. O jogo desenvolve-se numa plataforma digital *online*. Contudo, para encontrar o “tesouro” (a *geocache*), é obrigatório sair da frente de um ecrã e ir ao local da *geocache*. Existem mais de 3 milhões de *geocaches*, que estão distribuídas em 191 países e, em Portugal, a comunidade de *geocachers* já ultrapassa os 50 mil (*Geocaching*, 2023). Este jogo consiste na deslocação dos *geocachers* (jogadores) para um território onde está situada a *geocache*. Para a encontrar, o praticante utiliza o GPS (*Global Position System*) e as informações contidas na plataforma. O jogo é utilizado como uma ferramenta para diversos fins, designadamente na promoção de territórios (Samoty, 2017), na transmissão de conhecimento (Smith et al., 2021), no desenvolvimento de comportamentos sustentáveis e estilos de vida mais saudáveis (Balzan & Debono, 2018; Falcão et al., 2017; Palmárová & Lovászová, 2012; e Souza et al., 2020), na criação de oportunidades e cooperação entre distintas empresas locais e regionais (Falcão et al., 2017) e na promoção de atividades ao ar livre e de contacto com a natureza (Balzan & Debono, 2018).

Neste sentido, permite apoiar diferentes iniciativas que vão ao encontro de muitas das preocupações contidas na Agenda 2030 (UN, 2015).

A vila de Ançã, situada no Distrito de Coimbra, apresenta Património Natural e Cultural reconhecido (Cortesão, 1998; GAAC, 1990), com destaque para a Pedra, a Fonte e o Bolo de Ançã. Com vista à sua promoção, foram concebidas sete *geocaches* que integram um *Geotour*, o qual consiste num percurso de *caches* com uma determinada finalidade (*Geocaching*, 2023). A tabela I discrimina cada uma delas, bem como a tipologia da *cache*, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que promovem, e uma breve descrição do respetivo conteúdo.

Uma vez implantadas no território, pretende-se monitorizar as visitas a estas *caches* através dos *logs* (registos) na plataforma do *geocaching.com*, a fim de se verificar o interesse da comunidade *geocachers* pelo território, bem como realizar uma análise de conteúdo relativa aos comentários que os *geocachers* fazem na plataforma sobre estas sete *caches*. Este estudo-piloto servirá de base para a conceção de *Geotours* promotores do património natural e cultural de outros territórios.

Como trabalhos futuros prevê-se a aplicação deste *Geotour* em contexto educativo, fazendo não só a validação das *caches*, como também a sua dinamização integrada nos programas curriculares do primeiro Ciclo do Ensino Básico Português.

Tabela I – Caracterização das caches que integram a Geotour da vila de Ançã.

Nome da cache	Património	Tipo de cache	ODS	Descrição
Ançã#1	Geológico	Earthcache	4, 15	Pedra de Ançã - enquadramento geológico da pedra de Ançã
Ançã#2	Cultural	Cache tradicional	4, 11	Festa de S. Tomé - divulgação de tradições da vila
Ançã#3	Gastronómico	Cache tradicional (com objetos para troca)	4, 11	Bolo de Ançã - promoção do bolo tradicional
Ançã#4	Geológico	Cache tradicional	4	Fósseis de Amonite - caracterização e divulgação do registo fóssil da Formação Ançã
Ançã#5	Cultural	Cache tradicional	4, 15	Pedra de Ançã - aplicações, nomeadamente na escultura e arquitetura
Ançã#6	Cultural	Cache mistério	4, 11	Jaime Cortesão - divulgação da ilustre personalidade do séc. XX, nascida em Ançã
Ançã#7a	Natural	Multi-cache	4, 11, 15	Fonte de Ançã - divulgação da beleza e da riqueza hídrica local
Ançã#7b				
Ançã#7c				

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado: i) Fundos Portugueses através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I. P. (Portugal), no âmbito dos projetos I&D do Centro de Geociências, UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020; ii) Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro/ Centro de Geociências com uma Bolsa de Investigação [BI/UTAD/96/2021].

Referências

- Balzan, M. V., Debono, I. (2018). Assessing urban recreation ecosystem services through the use of geocache visitation and preference data: a case-study from an urbanised island environment. *One Ecosystem*, 3, e24490. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e24490>
- Cortesão, A. (1998). *Ançã- Memória de um Povo*. Centro de Estudos Educativos de Ançã, 143 pp.
- Falcão, A., Damásio, A., & Melo, R. (2017). Profile of practice, travel behaviour and motivations for geocaching. *European Journal of Tourism Research*, 16, 92–107. <https://doi.org/10.54055/ejtr.v16i.280>
- GAAC – Grupo de Arqueologia e Arte do Centro (Eds) (1990). *Pedra de Ançã – O Meio – O Homem – A Arte*. Câmara Municipal de Cantanhede, 122 pp.
- Geocaching. (2023). <https://www.geocaching.com/>
- Palmárová, V., & Lovászová, G. (2012). Mobile Technology used in an adventurous outdoor learning activity: A case study. *Problems of Education in the 21st Century*, 44, 64-71. <https://doi.org/10.33225/pec/12.44.64>
- Samotyk, M. (2017). The secret tourism in the 21st century - a decade of geocaching in Poland. *Journal of Education, Health and Sport*, 7(7), 1084-1094. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1039856>
- Smith, J. H., Coyle, D. R., Thomason, J. W., Matthews, T., & Riggins, J. J. (2021). Geocaching: A New Instructional Tool for Natural Resources Extension and Outreach. *The Journal of Extension*, 59(3). <https://doi.org/10.34068/joe.59.03.16>
- Souza, V. S., Marques, S. R. B. d. V., & Veríssimo, M. (2020). How can gamification contribute to achieve SDGs?: Exploring the opportunities and challenges of ecogamification for tourism. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 11(2), 255-276. <https://doi.org/10.1108/JHTT-05-2019-0081>
- UN [United Nation] (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E

Women representation in UNESCO Global Geoparks of Portugal

A representação das mulheres nos Geoparques Mundiais da UNESCO de Portugal

Henriques, M. H. (1) and Garcia, L. F. (2)

- (1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra & Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, hhenriq@dct.uc.pt
- (2) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra & Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

Resumo: Este trabalho analisa se os Geoparques Mundiais da UNESCO (UGGps) e Aspirantes a UGGps portuguesas estão comprometidos com os objetivos do desenvolvimento sustentável, especificamente com o ODS 5, que preconiza a necessidade de alcançar a igualdade de género e a emancipação de todas as mulheres e meninas, garantindo a participação plena e efetiva de mulheres e oportunidades iguais de liderança em todos os níveis de tomada de decisão da vida pública. Os resultados mostram que a igualdade de género ou a predominância feminina pode ser reconhecida na maioria dos UGGps e Aspirantes a UGGps portuguesas em termos de composição das equipas de gestão. Contudo, os cargos de coordenadores científicos são maioritariamente ocupados por homens.

Key words: Sustainable Development Goals, Gender Equality, Geoparks, Aspiring Geoparks.

Palavras-chave: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, Igualdade de Género, Geoparques, Geoparques Aspirantes.

UNESCO Global Geoparks (UGGps) are single, unified geographical areas where sites and landscapes of international geological significance are managed with a holistic concept of protection, education and sustainable development (UNESCO, 2023). In this sense, it is expected that UGGps, directly or indirectly in their activities, meet the necessary conditions for the implementation of an effective sustainable development for its inhabitants, therefore contributing to the 17 Sustainable Development Goals (SDGs).

This work analyzes how Portuguese UGGps and Aspiring UGGps are committed with one of these SDGs: to achieve gender equality and empower all women and girls by ensuring women's full and effective participation and equal opportunity for leadership at all levels of decision-making in political, economic, and public life (SDG5) (UN, 2023).

To this end, it was evaluated the gender composition in the management structure of five UGGps (Açores, Arouca, Estrela, Naturtejo and Terras de Cavaleiros) and three Aspiring UGGps (Algarviensis, Oeste and Viana do Castelo) of Portugal. Data were collected from the geoparks' websites (Table I), from the UGGp List (UNESCO, 2021) and were based on personal knowledge.

Results show that the gender composition of the managing team of the analyzed geoparks is quite diverse (Table II; figs. 1 and 2).

Table I. Geoparks' websites used for data collection.

	Name	Website
Geopark	Açores	https://www.azoresgeopark.com/associacao/equipa_operacional.php
	Arouca	http://aroucageopark.pt/pt/equipa-tecnica/
	Estrela	https://www.geoparkestrela.pt/associacao/equipa-executiva
	Naturtejo	https://www.naturtejo.com/
	Terras de Cavaleiros	https://www.geoparkterrasdecavaleiros.com/pt-pt/content/equipa-tecnica
Aspiring Geopark	Algarviensis	https://geoparquealgarviensis.pt/sobre/quem-somos
	Oeste	https://www.geoparqueoeste.com/menu/663/a-equipa
	Viana do Castelo	https://www.geoparqueitoralviana.pt/associacao

Table II. The gender composition in the management structure of five UGGps (Açores, Arouca, Estrela, Naturtejo and Terras de Cavaleiros,) and three Aspiring UGGps (Algarviensis, Oeste and Viana do Castelo) of Portugal.

	Name	Team		Executive Coordinator		Scientific Coordinator	
		Female	Male	Female	Male	Female	Male
Geopark	Açores	8	3	1	-	1	-
	Arouca	11	5	1	-	-	1
	Estrela	3	6	-	1	-	1
	Naturtejo	-	-	-	1	-	1
	Terras de Cavaleiros	4	4	1	-	-	1
	Total Geopark	26	18	3	2	1	4
Aspiring Geopark	Algarviensis	28	18	2	1	1	-
	Oeste	3	3	-	1	-	1
	Viana do Castelo	6	14	1	-	-	1
	Total Aspiring Geopark	37	35	3	2	1	2
	Total	63	53	6	4	2	6

The executive coordination shows a stronger representation of women (60% both in UGGps and Aspiring UGGps 60%) while the gender composition of the corresponding teams is quite balanced (59% female and 41% male in UGGps; 54% female and 46% male if Aspiring UGGps are included). Such positions refer mainly to political, executive and administrative functions in different areas of activity of geoparks, from education to tourism. The scientific coordination requires geoscientific skills and knowledge, and such position is mainly assigned to male (80% in UGGps;

75% if Aspiring UGGps are included), reflecting the traditional gender gap in geosciences, especially in higher levels of decision-making.

The lack of diversity in geosciences is a problem that affects everyone, and everyone has a responsibility to look around them, recognize the situation for what it is, and take the appropriate actions to make the necessary changes (Nature Editorial, 2018). Progress has been made, but women remain vastly outnumbered in geoscientific issues when compared to men, particularly at higher levels of employment (Ceci et al., 2014). For instance, in geology journals, women are underrepresented, occupying 15% of editor(s)-in-chief positions and 20% of the editorial board, similar to female underrepresentation in geosciences in general (Henriques & Garcia, 2022).

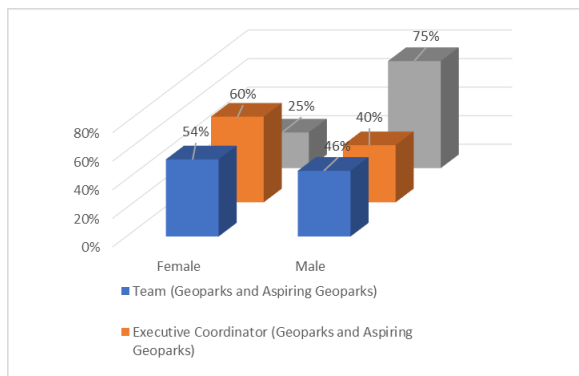


Fig. 1. Gender composition of Portuguese UGGps.

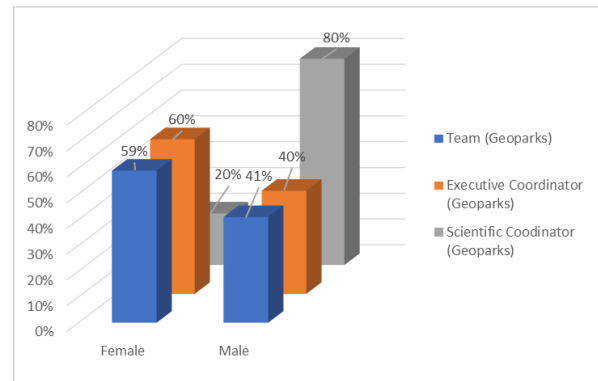


Fig. 2. Gender composition of Portuguese UGGps and Aspiring UGGps.

The UNESCO Global Geoparks Secretariat has an ethical obligation to broaden their diversity and reduce the gender gap in decision making positions among the geoparks managing teams. And it should therefore advice applicants to provide opportunities of reducing the gender bias in decision making positions when new geoparks' proposals are submitted and/or when existing geoparks are subject to revalidation, or to area or name modifications.

Acknowledgments: This study was supported by Portuguese funds through Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. (Portugal) in the frame of the UIDB/00073/2020 and UIDP/00073/2020 projects of I & D unit Geosciences Center (CGEO); it is a contribution for the Portuguese National Committee for the International Geosciences Program of UNESCO (IGCP) and the UNESCO Chair on “Geoparks, Sustainable Development and Healthy Lifestyles”.

References

- Ceci, S. J., Ginther, D. K., Kahn, S. & Williams, W. M. (2014). Women in Academic Science. *Psychol. Sci. Public Interest* 15 (3), 75–141.
- Henriques, M. H & Garcia, L. F. (2022). Women Underrepresentation in Editorial Boards of Geology Journals and the Utopia of Gender Equality. *Frontiers in Earth Science*, 10, 803900.
- Nature Editorial (2018). Science Benefits from Diversity. *Nature* 558, 5. doi:10.1038/d41586-018-05326-3
- UN (2023). Goal 5: Achieve Gender equality and Empower All Women and Girls. Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/gender-equality/> (Accessed January 10, 2023).
- UNESCO (2021). List of Geoparks & Regional Networks. Available at: <https://en.unesco.org/global-geoparks/list> (Accessed January 25, 2023).
- UNESCO (2023). UNESCO Global Geoparks (UGGp). Available at: <https://en.unesco.org/global-geoparks> (Accessed January 10, 2023).

Património Geológico Cadomiano da região de Abrantes

Cadomian Geological Heritage of Abrantes area

S. B. A. Henriques (1), P. H. Alves (2) e S. Machado (3)

(1), (2), (3) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Unidade de Geologia, Hidrogeologia e Geologia Costeira (UGHGC) - Estrada da Portela, Bairro do Zambujal, Ap. 7586 Alfragide, 2610-999 Amadora; susana.henriques@lneg.pt

Summary: *A well preserved Cadomian basement crops out at the contact between the Ossa Morena Zone and the Central Iberia Zone near Abrantes area. The magmatic and metamorphic activity recorded in this area indicates the existence of a long-lived continental arc (ca. 692–540Ma) with coeval felsic and mafic magmatism and a final collisional event (ca. 540 Ma). This sequence of events, as well as several tectonic and metamorphic features and well-preserved outcrops of diverse lithologies provides unique conditions for observing and characterize the Cadomian basement. The Geological Heritage from this area has high scientific and didactic relevance, which permit to interpret the past of the Earth.*

Key words: *Geological Heritage, Cadomian Arc, Magmatism, Metamorphism*

Palavras-chave: Património Geológico, Arco Cadomiano, Magmatismo, Metamorfismo

Introdução

No contacto entre as Zonas de Ossa Morena e Centro Ibérica, próximo de Abrantes, ocorrem afloramentos rochosos excepcionalmente bem preservados, que testemunham a evolução geológica do arco cadomiano durante o Neoproterozoico (750-530 Ma). Este arco magmático desenvolveu-se na margem Norte do Gondwana e os seus fragmentos encontram-se dispersos por diferentes áreas, incluindo o Maciço Ibérico, o Maciço Armoricano e o Maciço da Boémia (Inglis et al., 2004; Linnemann et al., 2008). O valor científico e didático que estes afloramentos apresentam, e que aqui se explicitam, levou a que fossem integrados no inventário de património geológico do LNEG (disponível no geoportal do LNEG), integração essa que se encontra em progresso.

Caracterização sumária de afloramentos representativos

A área em estudo está inserida na Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdova considerada uma sutura Cadomiana reativada pela orogenia Varisca (e.g. Ribeiro et al., 2009). É abrangida pelas cartas geológicas à escala 1: 50 000, Folhas 27-B (Tomar; Romão et al., 2016), 28-A (Mação; Romão e Esperancinha, 2000) e 28-C (Gavião; Zbyszewski et al., 1983).

Próximo de Vila Nova, junto à albufeira de Castelo de Bode, ocorrem bancadas de xisto quartzo-feldspático do Complexo do Sardeal com uma idade ígnea de 692 + 77/-60 Ma, o evento de magmatismo mais antigo

na Zona de Ossa Morena que assinala o início da atividade do arco (Henriques et al., 2015).

Ao longo do rio Tejo, entre a ponte rodoferroviária de Alvega e a estação ferroviária de Alvega-Ortiga, observam-se as rochas do Complexo do Sardeal que incluem: ortognaisses finos (569 ± 3 Ma), ortognaisses mais grosseiros (548 ± 4 Ma), migmatitos e granitos gnáissicos (Henriques et al., 2015). O magmatismo que originou os protólitos dos ortognaisses finos correlaciona-se com o segundo grande evento de magmatismo granítico observado no Orógeno Cadomiano (ca. 580-570 Ma; Inglis et al., 2004). Nos ortognaisses são bem visíveis a olho nu bandas alternadas de cor clara (quartzo-feldspáticas) e escuras (micáceas), de dimensão milimétrica a centimétrica e foliação milonítica, que por vezes se encontra dobrada (Fig. 1). Os migmatitos, que correspondem a metatexitos, apresentam um conjunto variado de estruturas: encraves de vários materiais, por vezes, miloníticos, nalguns casos dobrados (*schollen migmatite*); restitos de biotite (*biotite schlieres*) e migmatito estromático (*stromatic migmatite*) (Henriques, 2013).

Entre a estação de Mouriscas-A e a ponte rodoferroviária de Alvega, encontram-se as rochas do Complexo de Mouriscas, que incluem anfibolitos cadomianos (544 ± 2 Ma) e gnaisses anfibólicos, que assinalam os estádios finais de magmatismo do arco cadomiano. Estas rochas de composição química básica apresentam foliação nítida, por vezes dobrada e estrutura gnaissóide.

Próximo de Olalhas, o anfibolito do Cabeço da Moura, pertencente ao Complexo do Sardeal, testemunha o

último evento colisional cadomiano, que constitui um importante marco na história da Terra, caracterizado pela colisão continental, pela extinção da fauna Edicariana e pela explosão de vida do Câmbrio, com o surgimento dos principais filos de organismos multicelulares (539 ± 3 Ma; Henriques et al., 2015).

Valores associados aos afloramentos cadomianos

Os afloramentos associados à Orogenia Cadomiana estão muitas vezes intensamente deformados e alterados, devido à sobreposição dos eventos tectonometamórficos da Orogenia Varisca. Deste modo, um registo geológico contínuo e completo de eventos magmáticos e metamórficos cadomianos é invulgar, fazendo deste conjunto de locais geossítios com relevante valor científico que interessa conhecer, divulgar e preservar.

Em particular o afloramento do Anfibolito de Cabeço da Moura, na aldeia homónima, apresenta um valor científico muito relevante por, além de se apresentar em excelente estado de conservação, constituir o único local conhecido na Península Ibérica onde foi possível datar com exatidão o último evento metamórfico da Orogenia Cadomiana. Neste anfibolito, destaca-se também a ocorrência de uma morfologia típica de zircão metamórfico em “bola de futebol” que lhe confere um interesse em termos mineralógicos, cumulativamente com os interesses estratigráfico, geodinâmico e petrológico.

Na região referida junto ao rio Tejo, o excelente estado de conservação dos afloramentos permite observar litologias diversas e um conjunto de estruturas que lhes conferem também um valor didático assinalável.

Conclusão

O registo da sequência de eventos magmáticos e tectonometamórficos, desde os estados iniciais de magmatismo do arco cadomiano até à colisão continental, numa área relativamente restrita, permite considerar estes locais únicos e como tendo elevado valor científico e didático.



Fig. 1. Aspecto do bandado gnáissico nos ortognaisses finos do Complexo do Sardoal.

Agradecimentos: Apoio FCT para a Tese de Doutoramento associada à caracterização da região (bolsa FCT SFRH/BD/28720/2006). Dados geocronológicos obtidos no laboratório da Memorial University (St. John's, Canada; Prof. Gregory Dunning).

Referências

- Henriques, S.B.A. 2013. Magmatitos e metamorfitos de alto grau no contacto entre as zonas de Ossa Morena e Centro Ibérica: significado geodinâmico, Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra.
- Henriques, S.B.A., Neiva, A.M.R., Ribeiro, M.L., Dunning, G.R., and Tajcmanova, L. 2015. Evolution of a Neoproterozoic suture in the Iberian Massif, Central Portugal: new U-Pb ages of igneous and metamorphic events at the contact between the Ossa Morena Zone and Central Iberian Zone. *Lithos*, v. 220-223, 43-59.
- Inglis, J.D., Samson, S.D., D'Lemos, R.S., Hamilton, M., 2004. U-Pb geochronological constraints on the tectonothermal evolution of the Paleoproterozoic basement of Cadomia, La Hague, NW France. *Precambrian Research* 134, 293–315.
- Linnemann, U., Pereira, M.F., Jeffries, T.E., Drost, K., Gerdes, A., 2008. The Cadomian Orogeny and the opening of the Rheic Ocean: The diachrony of geotectonic processes constrained by LA-ICP-MS U-Pb zircon dating (Ossa-Morena and Saxo-Thuringian Zones, Iberian and Bohemian Massifs). *Tectonophysics* 461, 21–43.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Mateus, A., Fonseca, P.E., Noronha, F., Romão, J., Rodrigues, J., Castro, P., Meireles, C., Ferreira, N., 2009. Mechanics of thick-skinned Variscan overprinting of Cadomian basement (Iberian Variscides). *Comptes Rendus Geoscience* 341, 127–139.
- Romão, J., Esperancinha, A., 2000. Carta Geológica de Portugal, escala 1: 50 000, Folha 28-A (Mação). Instituto Geológico e Mineiro, Portugal.
- Romão, J., Esperancinha, A., Ribeiro, A., Pereira, E., Manuppella, G., Rocha, R., Barbosa, B., Barra, A., Ribeiro, J. 2016. Carta Geológica de Portugal, escala 1: 50 000, Folha 27-B (Tomar), LNEG.
- Zbyszewski, G., Ribeiro, O., Gonçalves, F., Carvalhosa, A., 1983. Carta Geológica de Portugal, escala 1: 50 000, Folha 28-C (Gavião), Serviços Geológicos de Portugal

Espaço Geológico e Geomorfológico Virtual associado à Paisagem Cultural de Sintra (UNESCO)

Geological e Geomorphological Virtual Space associated with the Cultural Landscape of Sintra (UNESCO)

J. C. Kullberg (1), M.T. Caetano (2), L. Castro (1) e A. Santos (3)

- (1) Departamento Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, e GeoBioTec – polo FCT, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica, jck@fct.unl.pt
- (2) Gabinete do Património Mundial da Câmara Municipal de Sintra, Largo Dr. Virgílio Horta, 2714-501 Sintra e CHAM – Centro de Humanidades, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade NOVA de Lisboa, Av. de Berna, 26 C, 1069-061 Lisboa
- (3) GeoBioTec – polo FCT, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica, e GeoSense, R. Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra

Summary: *The Sintra Municipality created the Virtual Natural Space associated to the UNESCO's classification of the Cultural Landscape of Sintra where the most relevant geological and geomorphological occurrences were selected. These areas/outcrops are described using a large number of media tools including virtual reality, for Science outreach and pedagogical and scientific purposes. 3D models are created based on very high resolution altimetry models built over selected UAV flights.*

Key words: *Sintra, Geology and Geomorphology, Virtual Space, Advanced interactive tools, Science outreach*

Palavras-chave: Sintra, Geologia e Geomorfologia, Espaço Virtual, Interatividade, Divulgação científica

Introdução

A Paisagem Cultural de Sintra, inscrita na Lista do Património Mundial, a 6 de dezembro de 1995, e constitui um lugar único cujo carácter excepcional foi reiterado pela própria UNESCO, em 2017. A área inscrita abrange significativa parte da Serra de Sintra e surge morfologicamente indissociável da Zona Tampão. Ou seja, a Zona Especial de Proteção vertida para a legislação nacional como complemento da sua subsequente classificação como monumento nacional (Lei de Bases do Património Cultural, Lei n.º 107/2001, de 8 de setembro). Assumindo-se, por conseguinte, como uma unidade patrimonial contínua que abrange a totalidade do conjunto montanhoso até ao seu mergulho, abrupto, no oceano.

De facto, a sua paisagem e o seu património ímpar têm sido alvo de numerosos estudos, uns mais aprofundados do que outros, é certo, mas todos eles norteados por um fio condutor expresso na inter-relação entre a história, a singularidade arquitetónica e o exotismo paisagístico, onde o Romantismo – alicerçado no conceito da Filosofia da Natureza – se espalhou livremente e alterou radicalmente a paisagem de antanho, transmutando-a numa cripto-paisagem. Cripto-paisagem cuja anciana “imagem” nos foi legada, em 1510, por Duarte d’Armas, mas também pelas gravuras fino-setecentistas e demais imagética da primeira metade do evo de oitocentos.

Tudo isto sem olvidar as descrições desta “paisagem assombrosa”, como – a título de exemplo – a do “naturalista” Charles Frédéric Merveilleux que tendo estado em Sintra, não deixou de anotar nas suas *Memórias Instrutivas Sobre Portugal (1723-1726)*, o seguinte: «cheguei à conclusão que esta serra era constituída de uma maneira muito particular e a tal ponto que julgo não haver outra assim em todo o mundo [...]. Compõe-se a serra de grandes pedras, algumas com dez pés de diâmetro, amontoadas umas sobre as outras [...] sem nada a ampará-las».

Neste contexto, sentiu também o Município de Sintra a necessidade de alargar o conhecimento sobre a paisagem Cultural e Zona Especial de Proteção a áreas menos exploradas, porém fundamentais para a apreensão deste “conglomerado” Cultural/Natural. E, neste sentido, estabeleceu parceria com o Instituto da Conservação da Natureza e Florestas, visando a indexação da sua fauna e da sua flora, não olvidando a “floresta relíquia”. Mas, com o intuito de melhor apreender e contextualizar globalmente a singularidade sintrense, a *História da Terra* – quer do ponto de vista científico, quer como instrumento de divulgação – assumiu-se, também, como incontornável certeza. Por conseguinte, a Câmara Municipal de Sintra decidiu (deliberação da Reunião de Câmara de 22 de fevereiro de 2022), proceder-se à seleção de locais geológicos e geomorfológicos para se proceder ao seu estudo e divulgação ao público em

geral através do site do bem “Paisagem Cultural de Sintra” para fins também pedagógicos e científicos.

Seleção de locais

Os locais propostos para integrarem o Espaço Virtual Natural (geológico/geomorfológico) de Sintra restringem-se às áreas de Paisagem Cultural de Sintra e da Zona Especial de Proteção, ambas inseridas na Área de Património Mundial (Fig. 1). Trabalhos de inventariação algo semelhante, embora sem estas limitações geográficas, foram levadas a cabo por outros autores (e.g. Ribeiro & Ramalho, 1997) Os locais selecionados pretendem ser representativos dos principais acontecimentos geológicos associados à evolução do Complexo Ígneo de Sintra (CIS) e ao contexto da Margem Ocidental Ibérica onde se localiza, a saber:

a) Rochas sedimentares encaixantes (Jurássico Sup.), com evidências de metamorfismo de contacto presente na auréola adjacente (Fig. 1, [5] e [11]); incluindo a ocorrência de pegadas de dinossauro em calcários do Cretácico Inf. [7];

b) Instalação do CIS no Cretácico Sup. como um lacólito a profundidade na ordem dos 3.000m, com a formação de diversos tipos litológicos faseadamente no tempo (83 e 80 Ma), desde os gabros (mafraito) [2], passando por micro-sienitos [3], até aos granitos [1] (cf. Terrinha *et al.*, 2018);

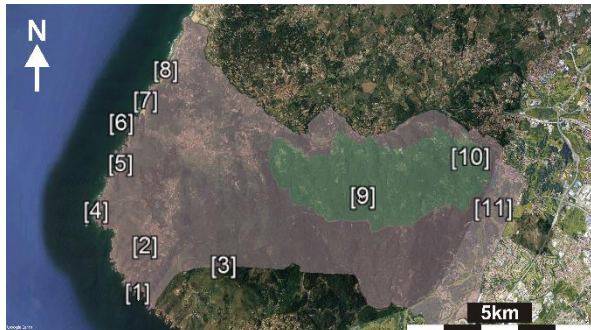


Fig. 1. Locais selecionados para integração no Espaço Geológico e Geomorfológico Virtual de Sintra. Área a verde: Paisagem Cultural de Sintra; a lilás: Zona Especial de Proteção. [1] Paisagem granítica litoral (c. 8 km de extensão); [2] Antiga exploração de Mafraito; [3] O Sienito de Sintra e Eixo da Serra de Sintra; [4] Cabo da Roca; [5] Penhascos litorais do Jurássico Superior; [6] Fojo da Adraga; [7] Jazida de pegadas de dinossauros; [8] Corte com dobra e falha inversa no encaixante; [9] Caos de blocos na Tapada das Roças; [10] Caos de blocos do Castelo dos Mouros; [11] Antiga pedreira para exploração do “Calcário de S. Pedro”.

c) Inversão tectónica durante o Paleogénico e, principalmente, durante o Miocénico, responsável pela ascensão do CIS até às cotas atuais, comprovada por estruturas de deformação (dobras e falhas inversas) no encaixante sedimentar [8];

d) Erosão da cobertura sedimentar que acompanhou a inversão tectónica que resultou na exposição, à

superfície, das rochas ígneas do CIS e a consequente ocorrência de uma riqueza notável de estruturas geomorfológicas, no litoral e no interior da serra de Sintra [1], [3], [4], [5], [6], [9] e [10].

Implementação

Em cada local são elaboradas descrições escrita e oral, com extratos de Carta Geológica, e localização Google Earth, vídeos (com recurso a drone), modelo real 3D, fotografias, ilustrações, mapas de contexto geográfico, animações 2D ilustrativas dos processos geológicos envolvidos na maioria dos locais selecionados.

A criação de um sistema de informação do litoral e de ocorrências no interior da Serra de Sintra, será baseado em levantamentos altimétricos de muito alta resolução, como base para uma experiência de Realidade Virtual. Para o levantamento aerofotogramétrico recorre-se a Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's, também conhecidos por drones), para a criação de modelos 3D (Fig. 2 exemplificativa) e Realidade Virtual, colocados em plataformas de Visualização e Disseminação de Informação.



Fig. 2. Imagem 3D de um setor do litoral da Serra de Sintra [6]. Carregar na imagem e utilizar as ferramentas de navegação que aparecerão ao fim de alguns segundos.

Agradecimentos:

A realização dos trabalhos de campo foram apoiados pelo projeto UIDP/04035/2020 (GeoBioTec) e a aquisição e processamento de imagens de VANT's apoiados pela empresa GeoSense.

Referências

- Merveilleux, C. F. (1983). Memórias instrutivas sobre Portugal, 1723-1726. In: C. B. Chaves (Trad.). *O Portugal de D. João V Visto por Três Forasteiros*. Biblioteca Nacional, 129-257.
- Ribeiro, M.L. & Ramalho, M.M. (1997). Notícia Explicativa da Carta Geológica simplificada do Parque Natural de Sintra-Cascais (1/50000). *IGM e ICN*.
- Terrinha, P., Pueyo, E.L., Aranguren, H., Kullberg, J.C., Kullberg, M.C., Casas-Sainz, A. & Azevedo, M.R. (2018). *Int. Jour. Earth Sciences*, 107, 1807-1833.

Classificação da Brecha da Arrábida como *Heritage Stone* pela *International Union of Geological Sciences (IUGS)*

Classification of Brecha da Arrábida as a Heritage Stone by the International Union of Geological Sciences (IUGS)

J. C. Kullberg (1), A. Prego (2), L. Lopes (3), T. Alves (4) e R. Martins (4)

- (1) Departamento Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, e GeoBioTec - polo FCT, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal, jck@fct.unl.pt.
- (2) ES Dr. José Afonso, Seixal, Portugal.
- (3) Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia (ECT), Departamento de Geociências, Portugal & Instituto de Ciências da (ICT), FCT, Portugal.
- (4) Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia (ECT), Departamento de Geociências, Portugal.

Summary: *On last October, the International Union of Geological Sciences (IUGS), Subcommittee on Heritage Stones, classified the Brecha da Arrábida with the designation of Heritage Stone (HS). This is the 3rd approved Heritage Stone from Portugal that belongs to a restricted range of 32 HS worldwide. The historical importance and the architectural relevance of Brecha da Arrábida is reflected in dozens of examples of applications in classified monuments in Portugal and several applications can be listed in monuments of six other countries. The relevance of the Brecha da Arrábida can also be attested by the numerous bibliographical references that it has been the subject of Combined with geological, educational and economic values, were key factors for the “Brecha da Arrábida” approval as HS. It is urgent to preserve and value this heritage.*

Key words: *Brecha da Arrábida, Heritage Stone, historic and architectural relevances, Geoconservation, Arrábida Natural Park*

Palavras-chave: Brecha da Arrábida, *Heritage Stone*, Relevância histórica e arquitectónica, Geoconservação, Parque Natural da Arrábida

Em outubro de 2022, a subcomissão de Heritage Stones da International Union of Geological Sciences (IUGS), classificou a Brecha da Arrábida como “Pedra Património” (Heritage Stone, HS) culminando um processo iniciado em 2017, após a publicação de Kullberg & Prego (2017). A intervenção dos restantes co-autores foi determinante para a classificação da Brecha da Arrábida, designadamente porque nunca tinha sido feita caracterização físico-mecânica exaustiva dado que, quando deixou de ser explorada devido à criação do Parque Natural da Arrábida em 1976, ainda não tinham sido publicados os primeiros catálogos de caracterização de rochas ornamentais em Portugal.

Em Portugal, a Brecha da Arrábida é a terceira rocha portuguesa a merecer esta designação, depois do Mármore de Estremoz em 2015 - o primeiro ano em que foi implementada, na altura com a designação de Global Heritage Stone – e o Calcário Lioz em 2018. A nível mundial, estão classificadas 32 HS pertencentes a um total de 17 países.

De acordo com o IUGS, uma HS “é uma pedra natural que tem sido utilizada em arquitetura e monumentos significativos, reconhecida como parte integrante da cultura humana”. A Brecha da Arrábida enquadra-se perfeitamente nesta definição. Tem sido explorada como rocha estrutural desde a Época Romana até ao

século XV, altura em que passou a ser utilizada como rocha ornamental associada ao estilo “Manuelino” nos exteriores dos monumentos e, a partir do século XVII, no Barroco, sobretudo em aplicações interiores (Fig. 1); também é relevante a sua utilização em diversos edifícios monumentais, principalmente lisboetas, durante o século XX (e.g. Instituto Superior Técnico e Palácio da Justiça).



Fig. 1. Fonte batismal na igreja do Loreto, Lisboa (restaurada no séc. XVIII)

Em Portugal, das 88 ocorrências listadas com carácter sistemático no documento de suporte à 2ª fase documental de candidatura da Brecha da Arrábida a HS, 65 referem-se a utilizações em monumentos classificados, 24 dos quais são monumentos nacionais, e alguns integrados em classificações da UNESCO.

Desta lista, constam vários exemplos de aplicações emblemáticas (e.g. Mosteiro de Jesus, século XV, em Setúbal) distribuídas por seis países, para além de Portugal, em três continentes: Áustria, França, Espanha e Reino Unido, Brasil e Moçambique.

Apesar de não existirem evidências de exploração extensiva desta pedra natural, dada a sua pouca espessura (raramente excedendo os 20 m) e a descontinuidade cartográfica, restrita a uma envolvente às Serras do Formosinho e de S. Luís, dada a sua singularidade estética, a utilização não se encontra concentrada em torno de Setúbal (16 registos) e Lisboa (15). No continente, até ao momento foram identificadas ocorrências desde Faro até Viseu. Macroscopicamente, a Brecha da Arrábida, consiste numa brecha conglomerática intraformacional, de suporte granular, com clastos carbonatados de diversas cores, no seio de um cimento carbonatado-ferruginoso, cuja génese está associada a um carso imerso. Em termos estratigráficos consiste numa unidade informal do Jurássico superior (Oxfordiano médio a superior), situada na base da unidade "Margas, argilas, calcários com calhaus negros e conglomerados da Arrábida (J^{3A}). Encontra-se a colmatar superfícies paleocársicas que materializam a descontinuidade Jurássico Médio/Superior (D9) pelo menos à escala da Bacia Lusitânica, correlacionando-se com a Formação de Cabaços, representada no setor central da Bacia.

Dada a sua raridade estética e interesse como objeto científico, a Brecha da Arrábida é amplamente referenciada na bibliografia. A primeira referência, sem caráter científico, pertence ao linguista e historiador Duarte Nunes Leão, em 1610 (*in* Silva, 1990, p.28) o qual referia inclusivamente que a designação pela qual a rocha era conhecida – jaspe – estava incorreta. A primeira referência científica é atribuível ao Barão de Eschwege (1837), quando estudou a geologia da região de Setúbal. Ao longo dos séculos, esta rocha teve diferentes nomes como *Pedra Jaspe*, *Vermelho Antigo*, *Grés Vermelho*, *Conglomerado d'Arrábida*, *Mármora Mosaico da*

Arrábida e Brechas de Portugal. Durante os séculos XIX e XX, esta rocha e a formação geológica em que se insere, foram alvo de inúmeros trabalhos científicos. Os mais recentes destacam a sua relevância no contexto das fases iniciais da abertura do Atlântico Norte ao longo de boa parte do Mesozóico.

A exploração da Brecha da Arrábida cessou em meados dos anos 70, com a criação do Parque Natural da Arrábida, onde se localizavam as pedreiras (Fig. 2).



Fig. 2. A pedreira do Jaspe, uma das últimas pedreiras a serem exploradas.

A importância histórica e relevância arquitetónica das suas aplicações, aliadas aos valores geológicos, culturais e pedagógicos, foram fatores determinantes para a aprovação da Brecha da Arrábida como HS. A geoconservação e valorização deste património requerem ações urgentes, a serem implementadas, principalmente na pedreira do Jaspe envolvendo os municípios e o Parque Natural, e devem passar: a) por melhorar as condições de visitação, recuperando algumas das antigas frentes de exploração das pedreiras e os caminhos de acesso às mesmas; b) pela colocação de placas informativas; c) pelo estabelecimento de visitas organizadas com fins pedagógicos e de sensibilização da população para a necessidade de preservação do património associado à Brecha da Arrábida e do património geológico em geral. A recente classificação como Heritage Stone deve materializar-se como um contributo importante para atingir estes objetivos.

Agradecimentos: o primeiro autor agradece ao Projeto FCT nº UIDB/04035/2020 (GeoBioTec), pelo financiamento; os autores em geral agradecem a uma série de instituições públicas e privadas que autorizaram a reprodução fotográfica de um número significativo de ocorrências, impossível de listar neste espaço.

Referências

- Eschwege, B. (1837). Memória geognóstica, prospecto geognóstico dos arredores de Setúbal. Mem. Academia Ciências Lisboa, XII(1), 53–63.
- Kullberg, J.C. & Prego, A. (2017). The Historical Importance and Architectonic Relevance of the "Extinct" Arrábida Breccia. *Geoheritage*, 11, 87–111.
- Silva, J.C.V. (1990). Setúbal. Coleção Cidades e Vilas de Portugal. Editorial Presença, Lisboa.

Geodiversidade no troço médio do rio Guadiana, argumentos para um futuro Geoparque no território de Mértola, Serpa, Moura e Barrancos

Geodiversity in the middle section of the Guadiana River, arguments for a future Geopark in the territory of Mértola, Serpa, Moura and Barrancos

J.X. Matos (1), R. Dias (1), Z. Pereira (1), R. Ressurreição (1), S. Soares (1), M. Mendes (1), L. Albardeiro (1), P. Gonçalves (1), S. Santos (1) e J. Piçarra (1)

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG), joao.matos@lneg.pt

Summary: *The region of Mértola, Serpa, Moura and Barrancos, located in the middle section of the Guadiana River presents a distribution of geosites of great scientific value, constituting the argument to a future Geopark. The studied territory includes the Ossa-Morena (OMZ) and South Portuguese (SPZ) geological sequences, the tectonic boundary between these two variscan domains, the geomorphology conditioned by Alpine tectonics, the Guadiana, Ardila and Chança rivers incision and differential erosion of quartzites, dolomites and marbles. Significant geological heritage is also present in the SPZ Iberian Pyrite Belt VMS and OMZ copper deposits. The Guadiana territory presents a typical landscape and exceptional geosites in a natural habitat (e.g. Pulo do Lobo waterfalls). In total, 50 geosites were considered in 6 regions: Barrancos-Ardila, Ficalho, Serpa-Pias-Moura, Alcaria, Guadiana and São Domingos. The future project of Geopark will be planned by the four municipalities considering geoconservation plans and regional sustainable policy.*

Key words: *geological and mining heritage, Iberian Pyrite Belt, Ossa-Morena Zone, geosites, geoparks*

Palavras-chave: *património geológico e mineiro, Faixa Piritosa Ibérica, Zona de Ossa-Morena, geossítios, geoparques*

Por convite da CM Mértola o Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG) estudou, entre 2021 e 2022, a região do troço médio do rio Guadiana, em particular os concelhos de Mértola, Serpa, Moura e Barrancos, com o objetivo de identificar os principais geossítios e rotas geológicas nesta região do Baixo Alentejo. A partir do conhecimento prévio sobre cartografia geológica e estratigrafia (*p.e.* cartas 1/200.000 e 1/50.000, ver síntese em Oliveira *et al.*, 1992 e Díez-Montes *et al.*, 2020), foram investigados lugares de interesse geológico, com importância científica e didática de relevo e fácil acesso, alguns deles já assinalados (Matos & Pereira, 2012; Brilha *et al.*, 2013). A região estudada é marcada por uma geodiversidade significativa associada às zonas Ossa-Morena (ZOM) e Sul Portuguesa (ZSP) (Fig. 1), unidades principais do soco varisco da Península Ibérica. Ocorrem ainda áreas cobertas com sedimentos cenozoicos da Bacia de Moura-Marmelar e terraços fluviais escalonados ao longo dos rios Guadiana e Ardila. Na ZSP destaca-se a Faixa Piritosa Ibérica como uma província metalogenética europeia, representada por dezenas de jazigos de sulfuretos maciços, como as antigas minas de São Domingos e Chança, incluídas neste trabalho. O património geológico analisado surge num enquadramento

natural muito próprio e característico do Alentejo, sendo exemplo os vales dos rios Guadiana (incluindo o troço abrangido pelo Parque Natural), Chança e Ardila, e outras áreas como os relevos de erosão de Ficalho (ZOM) e de Alcaria (ZSP). Neste contexto, sobressai, como tema principal de um futuro Geoparque, a história geológica do rio Guadiana e das sequências geológicas expostas nos afloramentos das suas margens, como testemunho da evolução do planeta no setor sul da cadeia varisca, marcada pela sutura associada ao contacto ZOM/ZSP, onde se localiza o Ofiolito Beja/Acebuches. Esta história complexa, é refletida por um soco pré-câmbrico, pela deposição de sequências sedimentares e vulcânicas e plataformas carbonatadas paleozoicas, instalação de maciços gabríticos e graníticos e deformação cadomiana e varisca das rochas. A história geológica mais recente do Guadiana constitui outro motivo de interesse e geodiversidade, sobressaindo a Bacia de Moura – Marmelar, controlada pela atividade alpina da falha de Vidigueira-Moura (Brum *et al.*, 2009) e a evolução bética de um Paleo-Guadiana (Dias *et al.*, 2018). Por fim, temos as geofomas de erosão diferencial de dolomias, mármore e quartzitos e a morfologia associada à dinâmica fluvial, testemunhada no

geossítio principal, de valor excepcional, a cascata do Pulo do Lobo e o terraço de erosão da Corredoura.

Os percursos geológicos e o modelo de Geoparque

Os reconhecimentos geológicos foram incluídos num Plano de Estruturação do Geoturismo no Vale do Guadiana, solicitado pela CM Mértola. No total, foram considerados 50 geossítios organizados por 6 percursos (Tabela I e Figura 1): i) Barrancos-Ardila; ii) Serras de Ficalho; iii) Serpa-Pias-Moura; iv) Relevos de Alcaria; v) Vale do Rio e vi) Circuito Mineiro.

Tabela I – Percursos considerados e áreas temáticas.

Percorso e geossítios (n)	Tema principal
Zona de Ossa-Morena	
Barrancos/Ardila: 9	Estratigrafia (Paleozoico), paleontologia, geomorfologia, mineralizações de Cu
Serras de Ficalho: 5	Mineralizações de Zn-Pb, geomorfologia
Serpa/Pias/Moura: 10	Maciços ígneos, Ofiólito Beja-Acebuches, soco Pré-Câmbrico, calchificação e pedogénese, hidrogeologia
Faixa Piritosa Ibérica	
Relevos de Alcaria: 4	Geomorfologia, mineralizações de Fe-Mn, hidrogeologia
Vale do Rio: 13	Estratigrafia (Devónico e Carbónico), estruturas vulcânicas, tectónica, geomorfologia
Circuito Mineiro: 9	Mineralizações de sulfuretos maciços, estratigrafia, paleontologia, tectónica

Em cada geossítio foram usadas fichas descritivas modelo PROGEO (Brilha *et al.*, 2013) com mapa geológico. O Plano foi elaborado de forma a preparar uma futura candidatura a Geoparque, a considerar pelos 4 municípios. Neste projeto deve ser enfatizada a geodiversidade do troço médio do Guadiana, o valor universal de alguns geossítios (*p.e.* cascata do Pulo do

Lobo e sequências do Paleozoico Inferior de Barrancos) e a unicidade do território marcado pela margem esquerda do rio e identidade cultural, etnográfica, histórica e natural muito características. A sua grande dimensão obrigará certamente a um modelo de gestão intermunicipal, sendo útil o envolvimento das ONGs e agrupamentos de escolas. Pelas suas características, este projeto poderá ser alargado de forma inovadora e transnacional à região espanhola da Andaluzia.

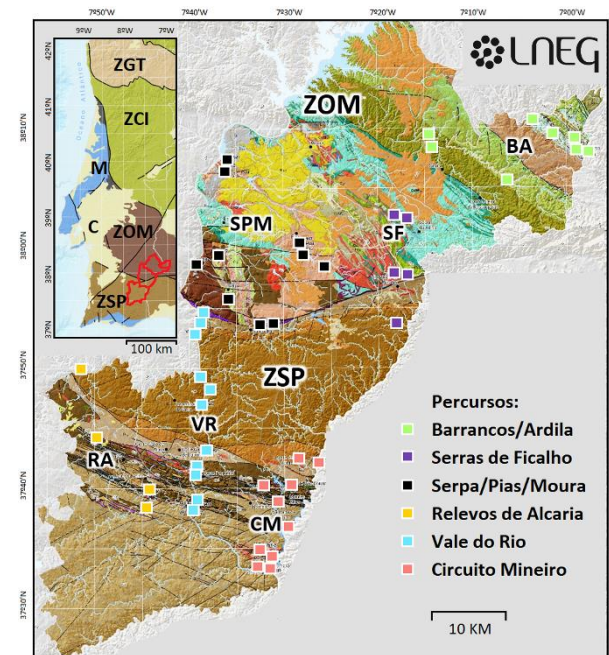


Fig. 1 – Geologia e enquadramento do território estudado (Oliveira *et al.*, 1992 e Díez-Montes *et al.*, 2020): Cenozoico (C); Mesozoico (M); Zona Galiza-Trás-os-Montes (ZGT); Zona Centro Ibérica (ZCI); Zona de Ossa-Morena (ZOM); Zona Sul Portuguesa (ZSP). Percursos: Barrancos/Ardila (BA), Serras de Ficalho (SF); Serpa/Pias/Moura (SPM); Relevos Alcaria (RA); Vale do Rio (VR); Circuito Mineiro (CM).

Agradecimentos: Financiamento da investigação por parte da CM Mértola.

Referências

- Brilha, J., Pereira, P., Pereira, D. & Renato, H. (2013). Geossítios de relevância nacional e internacional em Portugal Continental. Cap. 9., *in* Estrutura Ecológica Nacional, Ed. CEAPCC, 169-176. ISBN: 978-972-8669-53-9.
- Brum da Silveira, A., Cabral, J., Perea, H. & Ribeiro, A. (2009). Evidence for coupled reverse and normal active faulting in W Iberia The Vidigueira – Moura and Alqueva faults (SE Portugal). *Tectonophysics*, 474, 184-199.
- Dias, R.P., Hagendorn, A., Matos, J.X., Ressurreição, R. & Silveira, A.B. (2018). Reinterpretação do Cenozóico da Zona de Serpa com base em novos levantamentos Geológicos. X Cong. Nac. Geologia, *Vulcânica*, v II: 193-195.
- Díez-Montes, A., Matos, J.X., Dias, R., Pereira, Z., Machado, S., Solá, R., López-López, M., Carmona, J.J.H., Ressurreição, R., Mendes, M., Albardeiro, L., Morais, I., Henriques, S., Oliveira, D., Carvalho, J., Gonçalves, P. & Santos, S. (2020). Notícia Explicativa da Carta Geológica da Zona Sul Portuguesa, 1/400 000. Geo-FPI/Interreg POCTEP, IGME-LNEG, 64p. ISBN: 978-989-675-119-7.
- Matos, J.X. & Pereira, Z. (2012). The LNEG ATLANTERRA South Portuguese Zone Geosite characterization Program. Abs. 11th European Geoparks Conference 2012 (Eds: Sá, A., Rocha, D., Paz, A., Correia, V.), Arouca, 189-190.
- Oliveira, J.T. (Coord.) (1992). Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal na escala 1:200.000, Folha 8, Serviços Geológicos de Portugal.

Litoteca do LNEG Aljustrel, um espólio científico fundamental para a investigação da Faixa Piritosa Ibérica e da Zona de Ossa-Morena

LNEG Aljustrel core shed, a fundamental scientific record for the Iberian Pyrite Belt and Ossa-Morena Zone research

J.X. Matos (1), I. Morais (1), S. Santos (1), L. Albardeiro (1), P. Gonçalves (1), M.J. Batista (1), D. Oliveira (1) e R. Dias (1)

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG), joao.matos@lneg.pt

Summary: Since 2018 the LNEG's Aljustrel drill core shed is dedicated to the southern Portugal collections distributed by Iberian Pyrite Belt (IPB) and Ossa-Morena Zone (OMZ). The archive includes exploration drill hole cores, soil, stream sediments and rock samples, technical reports, and a complete and detail map collection (1/5.000 and 1/25.000 scales), all organized in databases. Drill hole relog allow a better understanding of the subsurface being essential in stratigraphy, structural mapping, mineral exploration and metallogeny. Following the regional Smart Specialization Strategy defined by CCDR Alentejo to Geological Resources, the LNEG Aljustrel develops R&D programs dedicated to thematic mapping and mineral resources. Critical Raw Materials mineralizations are present at the archives like IPB VMS Cu-Zn-Pb(Au-Ag-Sn-Sb) and Fe-Mn deposits and OMZ sulphide-magnetite (Zn-Pb,Cu(Au)), magnetite and Cu(Au) veins. The preservation of the subsurface geological heritage is critical to the IPB and OMZ research and an institutional LNEG mission.

Key words: Drill core shed, geological collections, Iberian Pyrite Belt, Ossa-Morena Zone, mineral exploration

Palavras-chave: Litoteca, coleções geológicas, Faixa Piritosa Ibérica, Zona de Ossa-Morena, prospeção mineral

O Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG) é responsável pela salvaguarda de um vasto espólio científico relativo a campanhas de prospeção de minerais metálicos e não metálicos. A informação encontra-se organizada em diferentes bases de dados, sendo disponibilizada através do Geoportal (<https://geoportal.lneg.pt>). Formalizada pelo Dec. Lei nº 39669, de 20/05/1954, a rede de litotecas do LNEG (Pereira *et al.*, 2018) encontra-se descentralizada pelas regiões: Norte (São Mamede de Infesta), Centro (Alfragide) e Alentejo (Aljustrel). Esta última infraestrutura encontra-se inserida num Campus formado também por um Edifício de Apoio, construído em 2016 junto ao bairro mineiro de Vale d' Oca, no local de Manteira, onde se situava a antiga lavaria piloto da mina. Inaugurado em 2018, no âmbito do projeto CEGMA – Centro de Estudos Geológicos e Mineiros do Alentejo/QREN Inalentejo e apoiado pela Câmara Municipal de Aljustrel, o LNEG Aljustrel constitui hoje uma das unidades ID de referência da região sul. A ampliação das instalações decorre em 2023 pelo projeto CEGMA 2.0/Alentejo 2020, que aposta numa política de sustentabilidade definida pela ampliação do quadro de investigadores/técnicos superiores, de acordo com a Estratégia de Especialização Inteligente indicada pela CCDR Alentejo. Neste contexto, a Litoteca constitui um polo de transferência e partilha de tecnologia sobre recursos geológicos junto de empresas e

universidades (*p.e.* apoio a teses PhD e MSc e cursos de formação). Os projetos ID desenvolvidos desde 2016 envolvem linhas de investigação em geologia, geofísica e geoquímica aplicadas sobre as principais áreas mineiras do Alentejo: a Faixa Piritosa Ibérica (FPI) e a Zona de Ossa-Morena (ZOM) (Batista *et al.*, 2020; Matos *et al.*, 2020). As atividades ID são divulgadas regularmente através da iniciativa *Dias de Litoteca Aberta*.

A importância da preservação do espólio geológico

A Litoteca de Aljustrel permite concentrar o vasto espólio científico existente no sul do país. Atualmente, as várias as coleções incluem 511 sondagens (FPI e ZOM) com uma metragem de 187 000 m, 497 000 amostras de solos, 67 000 am. de sedimentos de corrente e 3 000 am. de rochas, todas elas georreferenciadas e geridas através de bases de dados dedicadas. A mapoteca do LNEG Aljustrel complementa estas coleções, sendo formada por mais de 18 000 mapas temáticos nas escalas 1/5 000 e 1/25 000. A este espólio juntam-se ainda as sondagens arquivadas nos armazéns de Aparis (Barrancos) e São Luís (Cercal). O valor estimado das coleções pode ser quantificado, sendo superior a 33,4M€.

Na Tabela I indicam-se as estruturas mineralizadas representadas nas sondagens arquivadas. Na Fig. 1, mostra-se a sua distribuição entre 1950 e 2020, indicando-se as principais interseções e setores

investigados. Observa-se uma maior profundidade e quantidade dos furos efetuados na FPI, comparativamente à ZOM. A partir da década de 80 surge na FPI a investigação a profundidades > 1 000 m, em parte influenciadas pela investigação em Neves-Corvo e descoberta da massa de Lombador a grande profundidade (Matos *et al.*, 2020). Salienta-se a interseção na FPI e na ZOM de mineralizações de metais base e elementos considerados críticos (*Critical Raw Materials*, EU Commission, 2020) como Sb, Co, V, Ge, In e Ba. Várias jazidas indicadas na Fig. 1 encontram-se ainda em fase de prospeção. Neste cenário, é importante assegurar às empresas mineiras a hipótese de estudo de furos antigos e reanálise de amostras. Constitui um êxito a descoberta em 2014 da jazida de Sesmarias (FPI), precedida de um vasto programa de *relogging*. Surgem ainda como muito promissoras as sondagens efetuadas em Lagoa Salgada, Lousal, Caveira e São Domingos (FPI) e Enfermarias, Machados, Preguiça, Portel-Balsa, Alcaçovas, Mostardeira (ZOM). A Litoteca de Aljustrel,

espólio inestimável, ao dispor das empresas mineiras e unidades de investigação sobre estratigrafia e recursos minerais, contribuindo para um incremento do conhecimento geológico do sul do país.

Tabela I – Tipologia de estruturas mineralizadas representadas nas sondagens preservadas na Litoteca de Aljustrel.

Estrutura mineralizada	Tipo
Faixa Piritosa Ibérica	
Lagoa Salgada, Caveira, Lousal, Salgadinho, Montinho, Estação e Gavião (Aljustrel), São Domingos, Chança	Sulfuretos maciços e/ou stockworks de origem vulcanogénicas/VMS
Serra da Mina, Lagoas do Paço	Óxidos de ferro e manganês
Zona de Ossa-Morena	
Enfermarias, Preguiça, Portel, Balsa	Sulfuretos maciços + magnetite associados a metadolomias e metavulcanitos
Orada, Vale de Pães	Magnetite
Alcaçovas, Mostardeira, Miguel Vacas, Defesa das Mercês	Estruturas filonianas <i>s.l.</i> ricas em calcopirite

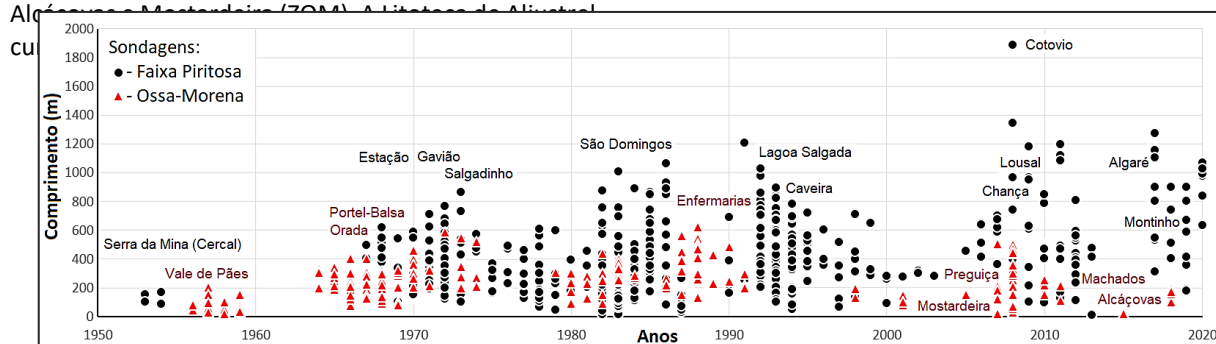


Fig. 1. Sondagens de prospeção preservadas na Litoteca de Aljustrel e nos armazéns de Aparis (Barrancos) e São Luís (Cercal): Faixa Piritosa: 510 furos, média de 385 m, máximo de 1 888 m, metragem total de 196 305 m, valor económico* de 23,56 M€; Zona de Ossa-Morena: 311 furos, média de 201 m, máximo de 625 m, metragem total de 62 395 m, valor económico* de 7,49 M€. * - custo estimado de 120€/m. Setores investigados: preto – Faixa Piritosa Ibérica; vermelho – Zona de Ossa-Morena (ver tipologia de estruturas mineralizadas na Tabela I).

Agradecimentos: Financiamento CEGMA/Qren Inalentejo, CEGMA 2.0//Alentejo 2020/Portugal 2020/FEDER, GEO_FPI/Interreg POCTEP, EXPLORA/Alentejo2020 e C4G/Rot. Nac. Inf. de Investigação de Interesse Estratégico.

Referências

- EU Commission (2020). CRM Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability, EC/2020/474.
- Batista, M.J., Mateus, A., Matos, J.X., Gonçalves, M.A., Figueiras, J., Abreu, M.M. & Luz, F. (2020). Geochemical exploration and assessment of environmental impacts in the Portuguese sector of the Iberian Pyrite Belt. *Comunicações Geológicas* LNEG, 107, Esp. III, 79-90. ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X.
- Matos, J.X., Carvalho, J., Represas, P., Batista, M.J., Sousa, P., Ramalho, E.C., Marques, F., Morais, I., Albardeiro, L., Gonçalves, P. & Dias, P. (2020). Geophysical surveys in the Portuguese sector of the Iberian Pyrite Belt: a global overview focused on the massive sulphide exploration and geologic interpretation. *Comunicações Geológicas* LNEG, 107, Esp. III, 41-78. ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X.
- Pereira, Z., Teixeira, R., Matos, J.X. & Dias, R. (2018). Litotecas do Laboratório Nacional de Geologia e Energia. Património Científico Fundamental à Investigação estratégica. Abstract Cong. Ciência, Cultura e Turismo Sustentável. Academia de Ciências de Lisboa, 26-27 nov., 1p.

Inventariação do património geológico e mineiro de Aljustrel – Proposta para o aproveitamento geoturístico da região

Geological and mining heritage inventory of Aljustrel – A proposal for a geotouristic resource

I. Morais (1), S. Santos (1), J.X. Matos (1), L. Albardeiro (1), D. de Oliveira (1), M. Aguiar (2), M. Guerreiro (2)

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), igor.morais@lneg.pt

(2) Câmara Municipal de Aljustrel

Summary: *The Aljustrel mining district, in the SW Iberian Pyrite Belt, hosts the oldest mining activity known to date in the Iberian Peninsula. The unique geological record of the region with a good exposure of the host rocks and ores and the vast mining heritage makes this territory an outdoor laboratory for natural sciences learning, in particular for the ore generating processes. Inaugurated in 2018, the National Laboratory of Energy and Geology in Aljustrel has been developing, in collaboration with the Aljustrel Municipality, a set of activities for geological and mining heritage assessment.*

Key words: *Geological heritage, Geotourism, Iberian Pyrite Belt*

Palavras-chave: Património Geológico, Geoturismo, Faixa Piritosa Ibérica

Inserida na Faixa Piritosa Ibérica (FPI), repartida entre Portugal e Espanha, a região mineira de Aljustrel é marcada por mineralizações de sulfuretos maciços ricos em cobre, zinco, chumbo, prata e ouro e por mineralizações de óxidos de ferro e manganês. Trata-se de uma das minas mais antigas da Península Ibérica, com indícios de exploração desde o Calcolítico até à atualidade. Pelas suas características peculiares, decorrentes da lavra romana e moderna desde o século XIX (Matos et al., 2008), Aljustrel é o reflexo dos vários ciclos extrativos das minas, sendo importante para o ensino da geologia, mineralogia, processos de reabilitação ambiental e arqueologia industrial. O Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) em colaboração com a Câmara Municipal de Aljustrel (CMA) tem vindo a desenvolver uma série de atividades conjuntas com o objetivo de valorizar o património geológico da região e potenciar o turismo científico (p.e. instalação dos passadiços e painéis de Algaes – projeto GEO_FPI/Interreg Poctep e ações Geologia no Verão/Ciência Viva).

A geologia da área mineira de Aljustrel é dominada por um anticlinório do Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS) da FPI com orientação NW-SE, sendo este limitado a NE e a SW por sedimentos turbidíticos da Formação de Mértola (Gr. Flysch do Baixo Alentejo). A sequência do CVS de Aljustrel compreende da base para o topo as seguintes unidades: Unidade Vulcânica Inferior, Unidade Vulcânica Superior, Sulfuretos Maciços, jaspes e chertes, Formação do Gavião e Formação do Paraíso (Matos et al., 2021) com idades entre o Famenniano superior e o Viseano médio superior.

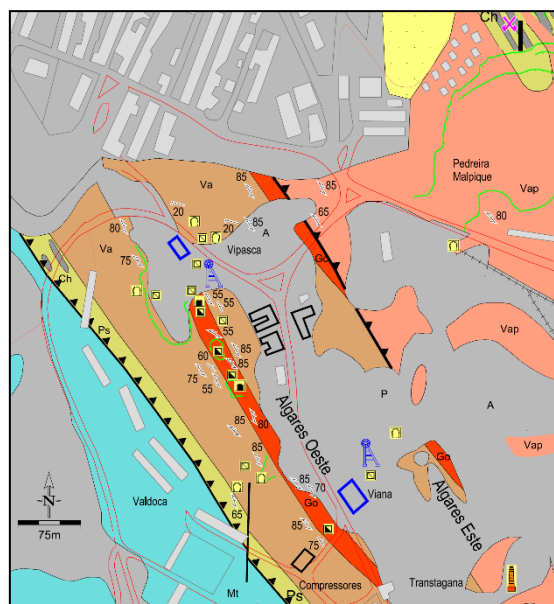


Fig. 1. Mapa geológico do setor de Algaes de Aljustrel, ad. Matos 2021. Geologia: CVS: Vap – Unidade vulcânica com Megacrístais; Va – Unidade vulcânica Tufo Mina e Tufo Verdes; Go – Chapéu de Ferro; PS – Fm. do Paraíso, xistos siliciosos. Fm. de Mértola: xistos e grauvaques: Mt, P, A – rejeitados da mina, escombrelas e aterros.

O cariz histórico e mineiro da vila de Aljustrel, aliado à presença de uma excelente exposição das rochas Paleozoicas permitiram a realização de um roteiro turístico com o objetivo da valorização do património geológico e mineiro. Neste contexto, associado à *Rota da Piritite* da FPI (Matos et al., 2008), foram definidos uma série de pontos de interesse que têm sido objeto de intervenções por parte da CMA para que possam ser visitáveis pelo público. Em particular sobressai o Parque Mineiro de Aljustrel localizado numa extensa

área recuperada pela Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM). Os lugares principais são os seguintes:

i) Central dos compressores – Infraestrutura construída em meados do séc. XX para produção de ar comprimido usado nos trabalhos subterrâneos, com a preservação da maquinaria original e uso do espaço como centro de exposições e de colóquios. Nas imediações existe um corte geológico com uma excelente exposição das rochas vulcânicas de Aljustrel com diferentes graus de alteração hidrotermal e ainda poços de prospeção romanos.

ii) Chapéu de ferro de Algares – Com cerca de 900 m de extensão e 35 m de largura o Chapéu de Ferro de Algares marca a paisagem local pelos tons vermelhos derivados da oxidação dos sulfuretos maciços (Matos, 2021). A excelente exposição deste corpo mineralizado permite ao visitante conhecer os fenómenos tectónicos que levaram à verticalização da estrutura bem como aspetos químicos e mineralógicos do minério. Podem ainda ser observados vários poços romanos.

iii) Galeria do Piso 30 de Algares – Reabilitada pela EDM, em colaboração com a CMA, esta antiga galeria de transporte de minério tem vindo a ser alvo de estudos mineralógicos por parte do LNEG. Ao longo da

galeria o visitante pode observar as principais unidades vulcânicas que ocorrem em Aljustrel. A interseção de dois corpos mineralizados e a consequente alteração supergénica dá origem a minerais de neoformação como óxidos, hidróxidos e sulfatos (Silva et al., 2020).

iv) Área mineira de Algares – Nesta zona reabilitada pela EDM encontram-se as principais infra-estruturas mineiras do séc XIX e XX tais como os tanques de cementação do cobre, escórias romanas, a chaminé de Transtagana, distribuidores do minério (tolvas), escombrelas reabilitadas e estruturas de controle de drenagem de águas ácidas. A heterogeneidade do setor de Algares é o reflexo de mais de 2000 anos de atividade extrativa. Ao longo dos mais de 1500 m de percursos pedonais o visitante pode assim observar os diferentes métodos de exploração e de processamento de minério, bem como as medidas usadas pela EDM para a reabilitação ambiental deste setor da mina.

v) Relevos de dureza – O relevo de Aljustrel destaca-se pelas suas colinas associadas a rochas mais resistentes à erosão como jaspes e chertes, aos quais se associam numerosas antigas minas de Fe-Mn exploradas no séc. XIX para a produção de concentrados de pirolusite, atualmente sem potencial económico.



Fig. 2. Vista panorâmica da área mineira de Algares – Parque Mineiro de Aljustrel.

Agradecimentos: O LNEG agradece aos técnicos do turismo da Câmara Municipal de Aljustrel todo o apoio logístico prestado. Financiamento através do projeto GEO_FPI/Interreg Poctep (Ref. 0052-GEO-FPI-5-E)

Referências

- Matos, J.X. (2021) Alteração hidrotermal ácido-sulfato associada aos jazigos de sulfuretos maciços de Lagoa Salgada, Caveira, Lousal, Aljustrel e São Domingos (Faixa Piritosa Ibérica). Tese de Doutoramento em Geologia, Especialidade e Metalogenia, Dep. Geologia, Fac. Ciências da Universidade de Lisboa.
- Matos, J.X., Martins, L.P., Oliveira, J.T., Pereira, Z., Batista, M.J., Quental, L. (2008) Rota da pirite no sector português da Faixa Piritosa Ibérica, desafios para um desenvolvimento sustentado do turismo geológico e mineiro. Proj. RUMYS, Livro Rutas Minerale en Iberoamérica, Ed. Paul Carrion, Esc. Sup. Politécnica del Litoral, Guayaquil, Equador, CYTED, 136-155.
- Silva, T., Matos, J., de Oliveira, D., Veiga, J., Morais, I., Gonçalves, P., Albardeiro, L. (2020) Mineral Inventory of the Algares 30-Level Adit, Aljustrel Mine, Iberian Pyrite Belt, Portugal, Minerals 10(10), p. 853.

Os geo-itinerários como meio de divulgação do património geológico de São Tomé e Príncipe

Geo-itineraries as a means of disseminating São Tomé's geological heritage.

K. Neto (1) e H. Henriques (2)

- (1) Departamento de Ciências da Universidade de Coimbra; Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, keynesmenio@gmail.com
- (2) Departamento de Ciências da Universidade de Coimbra; Centro de Geociências da Universidade de Coimbra

Summary: Africa's rich geodiversity is underrepresented in what can be considered the Earth's geological heritage and its analysis and dissemination are of the utmost relevance. This requires inventorying and assessing geosites to protect them and evaluating and monitoring procedures to ensure their preservation and promote sustainable development through geoeducation and geotourism.

This work is part of a project that aims to inventory the geological heritage of São Tomé and Príncipe through the identification and characterization of geosites and to develop and implement a strategy of valuation. In this work a geo-itinerary is proposed which aims to highlight the heritage value of six geosites, which can be used as a fundamental educational resource for the promotion and dissemination of geosciences in the territory, as well as a support tool for geotourism activity, thus reinforcing one of the most important economic sectors of the country.

Key words: Geo-itinerary, Geological heritage, geosites, São Tomé and Príncipe, Geotourism

Palavras-chave: Geo-itinerário, Património geológico, geossítio, São Tomé e Príncipe, geoturismo

A rica geodiversidade africana está sub-representada no que pode ser considerado como o património geológico da Terra e a sua análise e divulgação é da maior relevância. Para tal, é necessário inventariar e avaliar os geossítios com o objectivo de os proteger, bem como avaliar e monitorizar procedimentos para assegurar a sua preservação e promover o desenvolvimento sustentável através da geoeducação e do geoturismo (Neto & Henriques, 2022).

Este trabalho faz parte de um projeto que visa inventariar o património geológico de São Tomé e Príncipe através da identificação e caracterização dos geossítios, bem como desenvolver e implementar uma estratégia de valorização concebida para a sua fruição, tanto como recurso educativo fundamental para a promoção e divulgação das geociências no território, como instrumento de apoio à atividade geoturística, reforçando assim um dos sectores económicos mais importantes do país.

O arquipélago de São Tomé e Príncipe está localizado no Golfo da Guiné, África Centro-Oeste, representa uma área privilegiada para o estudo comparativo entre o vulcanismo oceânico e o vulcanismo alcalino continental, uma vez que está localizado na parte oceânica da "Linha Vulcânica dos Camarões" (2019).

Na sequência de trabalhos anteriores, em que foi feito um inventário e avaliação qualitativa de vários geossítios da Ilha de São Tomé, este trabalho propõe um geo-itinerário que visa realçar o valor patrimonial

de seis geossítios (Lagoa Azul, Ribeira Funda, Anambó, praia de Monte Forte, praia de Brita-túnel de Santa Catarina e Estrada de Santa Catarina), bem como a sua utilização como ferramenta de geoturismo e geoeducação.

A diversidade exibida por cada um dos seis geossítios selecionados permite demonstrar e explicar uma variedade de fenómenos geológicos, históricos e ambientais que constituem a origem e evolução da Ilha de São Tomé e Príncipe.

O geo-itinerário aqui proposto pode ser bastante útil para apoiar actividades educacionais entre os estudantes do 2º ciclo do básico até ao ensino superior, e como um importante recurso turístico a ser fornecido aos visitantes, geralmente apenas conscientes da notável biodiversidade do país. (Fig. 1). Permite-nos abordar questões transversais a várias ciências, desde a geologia, topografia, geomorfologia, paleontologia, história, biologia, e educação ambiental. De facto, a geodiversidade pode permitir uma visão holística das ligações entre a natureza não viva e a natureza viva.

Este geo-itinerário permiti-nos salientar os valores dos geossítios com valores estratigráficos, paleontológicos, estruturais, geomorfológicos e arquitetónicos, e pode ser utilizado para fins turísticos, científicos e educativos. Os seis geossítios inventariados ao longo do geo-itinerário são apresentados a seguir (Fig. 1):

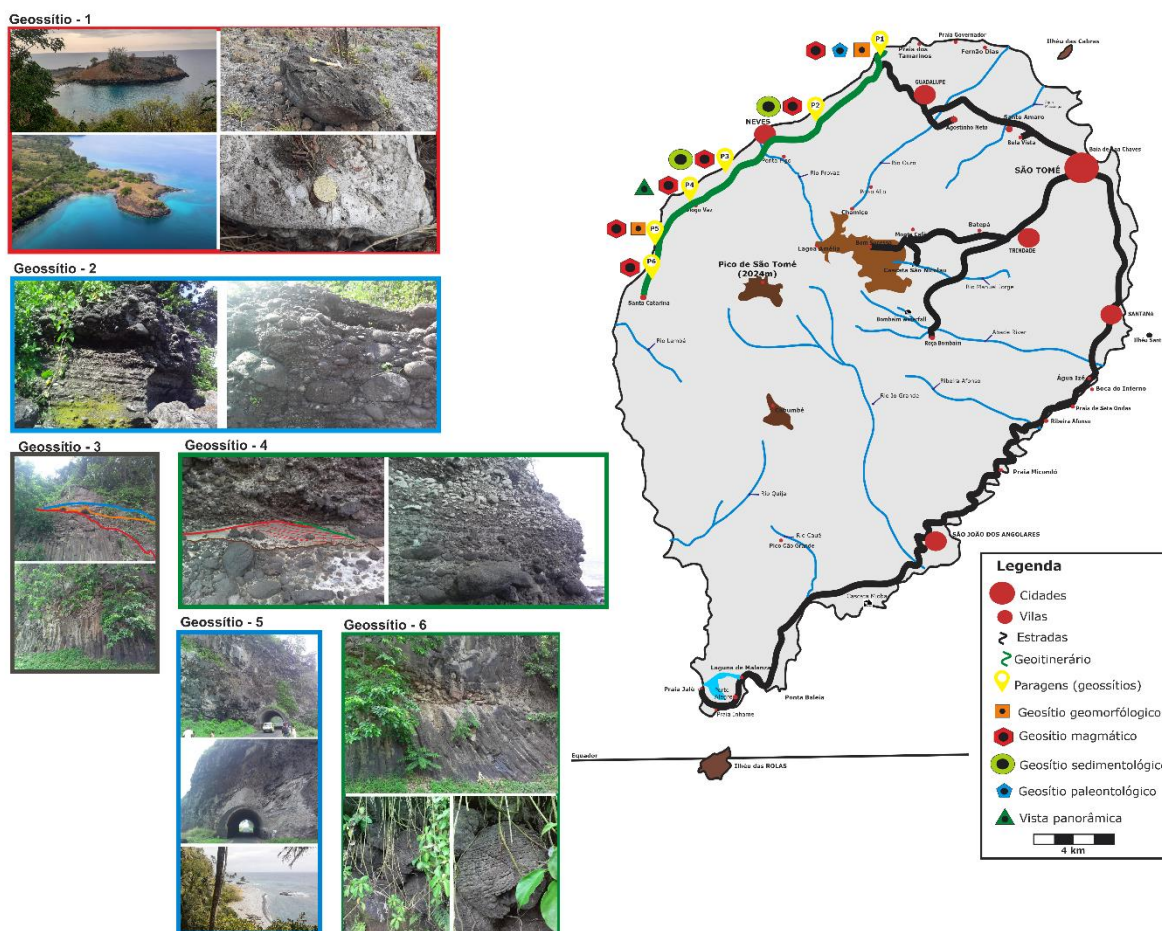


Fig. 1. Localização do geo-itinerário proposto neste trabalho e dos 6 geossítios selecionados (Lagoa Azul, Ribeira Funda, Anambó, praia de Monte Forte, praia de Brita, túnel de Santa Catarina e Estrada de Santa Catarina), aqui representados por várias fotografias que realçam características geológicas. 1. Lagoa Azul; 2. Ribeira Funda; 3. praia de Monte Forte; 4 - Anambó; 5. Túnel de Santa Catarina/praias Brita; 6. Estrada de Santa Catarina).

Agradecimentos: Este estudo foi desenvolvido no âmbito da bolsa UI/BD/151297/2021 apoiada por fundos portugueses da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. (Portugal) através dos projectos UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020 da unidade de I & D do Centro de Geociências (CGEO), e é uma contribuição para o Comité Nacional Português para o Programa Internacional de Geociências da UNESCO (IGCP).

Referências

- Henriques, M., & Neto, K. (2014). Geoheritage at the Equator: Selected Geosites of São Tomé Island (Cameron Line, Central Africa). *Sustainability*, 7. <https://doi.org/10.3390/su7010648>
- Henriques, M., & Neto, K. (2019). *Geoheritage at the Equator: Revisiting Selected Geosites of São Tomé Island (Cameron Line, Central Africa)* (pp. 01–031). <https://doi.org/10.37247/PAS.1.2019.01-031>
- Neto, K., & Henriques, M. H. (2022). Geoconservation in Africa: State of the art and future challenges. *Gondwana Research*, 110, 107–113. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.05.022>.

Locais de interesse geomorfológico dos domínios setentrionais da Zona de Ossa Morena em Portugal: caracterizar para valorizar

Geomorphological sites in the northern domains of the Ossa Morena Zone in Portugal: characterize aiming the promotion

D. I. Pereira (1), N. Moreira (2), P. Moura (3), A. Martins (4) e A. Araújo (4)

(1) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho (dinsuapereira@gmail.com)

(2) IIFA - Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra - Polo de Évora

(3) Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho

(4) Dep. Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra

Summary: *This work characterizes eight geomorphological sites of the northern domains of the Ossa Morena Zone, aiming to expose their scientific, educational, scenic and touristic value, as well as to support the enhancement of the territory and its geoconservation. Six panoramic sites allow to approach and interpret the features of the Estremoz and Évora plateaus and the landforms that stand out from them, due to the joint action between lithology and climate, but also tectonics. One site illustrates a case of antecedent drainage and the last one highlight the tectonic constraints of the Guadiana River and its geomorphological evolution.*

Key words: *Ossa Morena Zone, Alentejo, geomorphology, geoconservation*

Palavras-chave: Zona de Ossa Morena, Alentejo, geomorfologia, geoconservação

Este trabalho tem como objetivo identificar, caracterizar e sustentar a valorização de locais de interesse geomorfológico dos domínios setentrionais da Zona de Ossa Morena (ZOM). Foram identificados oito locais, de modo a expor o seu valor científico, educativo, paisagístico e turístico, sendo que alguns destes locais são ainda enriquecidos pelo seu valor histórico. Consideram-se os seguintes: crista quartzítica de Fortios (Portalegre), colina de Alter Pedroso (Alter do Chão), barra quartzítica da Serra das Penas (Fronteira), Castelo de Estremoz, Pego do Sino (Ribeira de Tera, Estremoz), degrau morfológico da Juromenha (Alandroal), relevo da Aldeia da Serra (Arraiolos) e Alto de São Bento (Évora).

Sob o ponto de vista geomorfológico, em Portugal, a ZOM enquadra-se nos Planaltos do SW Peninsular, uma das unidades de 2º nível hierárquico do Maciço Ibérico e coincide com as unidades de 3º nível designados por Planalto de Estremoz, Planalto de Évora e Planalto de Beja (Pereira et al., 2014). Tradicionalmente esta unidade é conhecida por Meseta Sul, uma extensa superfície de aplanamento poligénica desenvolvida a sul da Cordilheira Central Ibérica sobre um substrato essencialmente metassedimentar, por vezes sobre rochas plutónicas e pontualmente sobre sedimentos cenozoicos que cobrem o substrato pré-mesozoico. Esta unidade geomorfológica ocupa 32% do território continental português e desenvolve-se maioritariamente entre os 200 e os 400 m acima do nível do mar (asl) (Pereira et

al., 2014). Recentemente Martins et al. (2022) descrevem sucintamente a geomorfologia do Alentejo Central que envolve os designados Planaltos de Estremoz e Évora definidos por Pereira et al. (2014), grosso modo correspondente à área em estudo da ZOM. A área caracteriza-se pelo desenvolvimento do aplanamento da Meseta Sul a altitudes entre os 200 e os 300 m asl, do qual sobressaem relevos de resistência e tectónicos.

O Planalto de Estremoz está limitado a norte pelo Planalto de Nisa e pela Serra de São Mamede, ambos situados na ZCI. O Planalto de Estremoz desenvolve-se no substrato essencialmente metassedimentar da ZOM, com um padrão de relevo correspondente a alinhamentos estruturais NW-SE (Pereira et al., 2014), coincidente com a estruturação varisca regional (Araújo et al., 2013). Nesta unidade merecem especial destaque a erosão diferencial que destaca os relevos dolomíticos de Elvas e Estremoz (Martins et al., 2022) ou a barra quartzítica da Serra das Penas (Cabeço de Vide), bem como pequenas colinas ocasionais de rochas plutónicas, como é o caso do maciço de Alter Pedroso, composto por rochas de natureza percalina.

O Planalto de Évora, pouco dissecado pela incisão fluvial, tem como substrato geológico essencialmente rochas granitoides do Maciço de Évora, destacando-se por vezes pequenas elevações de resistência como é o caso do Alto de São Bento (367 m), situado a NW da cidade de Évora. Menos de 10 km a oeste desta cidade desenvolve-se também a Serra de Monfurado, uma

crista resistente, cujos cumes não foram completamente aplanados devido à diversidade litológica e à sua localização geográfica - limite das bacias hidrográficas dos rios Tejo, Guadiana e Sado, onde o aplanamento da Meseta foi difícil de conseguir (Martins et al., 2022).

A visão da geomorfologia aplanada do domínio em estudo, grosso modo localizado entre os paralelos de Portalegre e Évora, é posto em evidência no topo da crista de Fortios (Portalegre), no limite sul da Zona Centro Ibérica.

Da paisagem aplanada a NE de Évora destaca-se a Serra d'Ossa (652 m asl), o principal relevo dos domínios setentrionais da ZOM. Este relevo pode ser observado a partir de locais panorâmicos como a crista de Fortios atrás mencionada, mas também do Castelo de Estremoz localizado sobre o planalto dolomítico de Estremoz.

A Serra d'Ossa desenvolve-se numa tendência geral WNW-ESE (N80°W), com uma escarpa de 200 m de altura virada a norte, mais íngreme do que a encosta virada a sul (Martins et al., 2022). O facto da escarpa norte da Serra d'Ossa ser transversal às estruturas variscas, de orientação NW-SE (N40°W), sugere a origem essencialmente tectónica deste relevo. Também o facto da terminação ocidental da escarpa da falha d'Ossa coincidir com a terminação em cauda de cavalo da falha Graça do Divor, um desligamento esquerdo de orientação NNE-SSW, sugere a interpretação da Serra d'Ossa como resultado de uma deformação em *push up* da superfície da Meseta Sul (Martins et al., 2022).

A geoforma da Aldeia da Serra (Arraiolos), com uma altitude de 352 m asl e estruturada num gnaisse de

grão médio a grosseiro de duas micas, é interpretada como um relevo ativo, podendo estar associada ao elevado número de epicentros sísmicos ali registados (Araújo et al., 2010). Elevando-se cerca de 60 metros acima da superfície envolvente, esta elevação tem, também ela, sido interpretada como uma estrutura em *push-up* associada à falha de Ciborro e ao lineamento de S. Gregório (Araújo et al., 2010).

Ações relacionadas com os levantamentos tectónicos recentes podem também estar na origem da geoforma do Pego do Sino (Estremoz). Esta geoforma é caracterizada pela presença de uma garganta incisa em níveis mais resistentes presentes na superfície mais elevada, constituídos por litótipos da Formação de Ossa, resultante da incisão da ribeira de Tera. A inflexão anómala do curso da ribeira e o encaixe em níveis mais resistentes sugere que esta geoforma poderá resultar da incisão transversa da drenagem à estrutura geológica (processo de antecedência).

O rio Guadiana constitui o eixo de drenagem principal da região em análise. Nas proximidades de Juromenha (Alandroal) o rio desenvolve, em território espanhol, uma extensa planície aluvial sobrejacente a depósitos brandos de idade cenozoica. Na Juromenha, em território português, o substrato paleozoico encontra-se sobrelevado através de um degrau morfológico que se interpreta como resultado da tectónica alpina associada à falha da Messejana (Araújo, 2004).

Para além do prolongamento deste procedimento para o setor sul da ZOM, o trabalho pretende ainda sustentar trabalhos futuros que visem a valorização deste território e a geoconservação em parceria com as entidades de desenvolvimento regional e autarquias locais.

Agradecimentos: Este trabalho é apoiado pelo financiamento concedido pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., projetos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Araújo, A. (2004). Tectónica alpina na região de Juromenha (Nordeste Alentejano). Comunic. INETI, t. 91, 17-36.
- Araújo, A., Matos, J., Martins, A., (2010). A elevação de Aldeia da Serra (Arraiolos): um “push up” activo associado à falha de Ciborro e ao lineamento de S. Gregório IIII Congresso Nacional de Geologia, e-Terra, 11: 10.
- Araújo, A., Piçarra, J., Borrego, Pedro, J., Oliveira, T. (2013), As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena. In: Geologia de Portugal (Vol. I). Lisboa: Escolar Editora, 509-549
- Martins, A., Moreira, N., Araújo, A., Pereira, D. I. (2022). The central Alentejo plateaus: a review of the regional relief units. 10th International Conference on Geomorphology, Coimbra. <https://doi.org/10.5194/icg2022-232>
- Pereira, DI., Pereira, P., Santos, L., Silva, J. (2014). Unidades geomorfológicas de Portugal Continental. Revista Brasileira de Geomorfologia. 15. pp.567-584.

Proposta de metodologia para avaliação do risco de degradação de património geológico

Proposal of a methodology for geoheritage degradation risk assessment

P. Pereira (1), L. Selmi (2), T.S. Canesin (1), R. Gauci (3), J. Vegas (4) e P. Coratza (2)

- (1) Instituto de Ciências da Terra, polo da Universidade do Minho, Braga, paolo@dct.uminho.pt
- (2) Departamento de Química e Ciências Geológicas, Universidade de Modena e Reggio Emilia, Itália
- (3) Departamento de Geografia, Universidade de Malta
- (4) Instituto Geológico e Mineiro de Espanha

Summary: A methodology for assessing the risk of degradation of geoheritage is presented. The methodology is based on three criteria: natural vulnerability, anthropogenic vulnerability and public use. Each criterion is assessed based on specific parameters. Natural vulnerability considers the possibility of damage caused by natural processes not involved in the formation of the geosite, while anthropic vulnerability takes into account human activities related to the economic value of the geosite. Public use considers the possibility of damage caused by the current and potential location and use of the geosite. This methodology was applied in geosites in Malta and Portugal and offers a quantitative approach to contribute to a clarification of concepts and procedures in geoheritage degradation assessment and to support adequate management procedures.

Key words: Degradation, natural vulnerability, anthropogenic vulnerability, criteria, parameters.

Palavras-chave: Degradação, vulnerabilidade natural, vulnerabilidade antrópica, critérios, parâmetros

Processos naturais e ações antrópicas podem ameaçar a integridade do património geológico, pelo que o risco de degradação deve ser considerado em qualquer estratégia de geoconservação. No entanto, no elevado número de propostas metodológicas para avaliação de património geológico já publicadas, a maioria centra-se nos procedimentos de inventariação e comparação dos vários tipos de valor dos geossítios, sendo poucas as que discutem procedimentos mais detalhados para avaliar a degradação (Santucci et al., 2009; Fuertes-Gutierrez & Fernandez-Martinez, 2010; Fassoulas et al., 2012; García-Ortiz et al., 2014; Brilha, 2016). Para além disso, as propostas metodológicas apresentam terminologia diferente e algumas consideram apenas parcialmente os aspetos que contribuem para o risco de degradação. Termos como vulnerabilidade, fragilidade e risco, apesar de tradicionalmente utilizados noutros ramos do conhecimento, são adaptados para a avaliação da degradação atual e potencial do património geológico.

No presente trabalho, apresenta-se uma metodologia quantitativa para a avaliação do risco de degradação do património geológico, baseada em três critérios: vulnerabilidade natural, vulnerabilidade antrópica e uso público. Para cada critério, são avaliados parâmetros, os quais são pontuados de 0 a 3 pontos, de acordo com indicadores específicos.

Vulnerabilidade natural considera a possibilidade de um geossítio ser danificado ou destruído por processos naturais não envolvidos na génese dos seus valores e compreende dois parâmetros:

- Processos ativos - não envolvidos na génese do geossítio, mas que o podem afetar; podem ter origens geológicas, climáticas e biológicas;
- Proximidade - de possível fonte de degradação devido a processos naturais ativos (como, por exemplo, erosão costeira, erupções vulcânicas ou movimentos de massa).

Vulnerabilidade antrópica considera a possibilidade de um geossítio ser danificado ou destruído por atividades humanas devido ao seu valor económico e compreende dois parâmetros:

- Interesse económico - a ocorrência de elementos da geodiversidade em exploração ou com potencial para a sua exploração económica (traduzido pela existência de atividades extrativas);
- Interesse privado - a ocorrência de recolha ilegal ou apropriação indevida de elementos da geodiversidade como fósseis e minerais para uso privado.

Uso público considera a possibilidade de um geossítio ser danificado ou destruído devido à sua localização e

ao seu uso atual e potencial e compreende sete parâmetros:

- Estatuto legal - a existência de proteção legal do geossítio devido ao seu valor geológico, localização em área protegida ou com proteção devido a valor cultural ou histórico;
- Proximidade humana - proximidade do geossítio a áreas com atividades humanas que podem causar degradação;
- Acessibilidade - uma boa acessibilidade é prejudicial porque quanto mais visitantes tiver, maior é a possibilidade do geossítio ser degradado.
- Densidade populacional – a maior concentração de pessoas perto do geossítio também aumenta a probabilidade de deterioração induzida pelo homem;
- Proteção física - barreiras físicas e estruturas para proteger os geossítios limitam o contacto direto com potenciais degradadores;
- Uso inadequado - ocorrência de vestígios de utilização incorreta do geossítio como, por exemplo, vandalismo ou despejo de resíduos;

- Controlo de acesso - existência acesso controlado ao geossítio, com barreiras físicas, patrulhas de vigilância ou videovigilância.

A pontuação total do risco de degradação pode variar entre 0 e 33 pontos. Os geossítios com pontuação inferior a 7 pontos são considerados com baixo risco de degradação, enquanto o nível de risco de degradação mais elevado é atribuído aos geossítios com pontuação superior a 25 pontos.

Os resultados obtidos com a avaliação destes critérios e parâmetros em geossítios de Malta e de Portugal demonstram que o risco de degradação dos geossítios está principalmente relacionado com negligência e falta de conhecimento sobre património geológico, o que leva a uma má utilização e má gestão pública dos geossítios (Canesin et al. 2021; Selmi et al., 2022).

Com esta metodologia pretende-se contribuir para uma maior clarificação de conceitos e procedimentos na avaliação da degradação do património geológico, no sentido de suportar medidas de gestão adequadas.

Agradecimentos: Ao programa Erasmus+ pelo financiamento do projeto “Training new generations on geomorphology, geohazards and geoheritage through Virtual Reality Technologies” (2021-1-SE01-KA220-HED-000032142), à Universidade de Modena e Reggio Emilia pelo financiamento do projeto FAR2021 e à Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo financiamento de bolsa de doutoramento com a Ref. SFRH/BD/146016/2019.

Referências

- Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: A review. *Geoheritage*, 8, 119–134.
- Canesin, T., Pereira, P., Vegas, J., Selmi, L., Coratza, P. & Santos, V. (2021). Addressing indicators for geoheritage monitoring based on degradation risk and scientific value quantitative assessment. EGU Virtual EGU General Assembly 2021, Viena, Austria, EGU21-15024.
- Fuertes-Gutiérrez, I. & Fernández-Martínez, E. (2010). Geosites inventory in the Leon Province (Northwestern Spain): A tool to introduce geoheritage into regional environmental management. *Geoheritage*, 2, 57–75.
- Fassoulas, C.; Mouriki, D.; Dimitriou-Nikolakis, P.; Iliopoulos, G. Quantitative assessment of geotopes as an effective tool for geoheritage management. *Geoheritage*, 4, 177–193.
- García-Ortiz, E.; Fuertes-Gutiérrez, I.; Fernández-Martínez, E. Concepts and terminology for the risk of degradation of geological heritage sites: Fragility and natural vulnerability, a case study. *Proceedings of the Geologists’ Association*, 125, 463–479.
- Santucci, V.L., Kenworthy, J.P., & Mims, A. (2009). Monitoring in situ paleontological resources. In Young, R., Norby, L., (Eds) *Geological Monitoring*. Geological Society of America. Boulder, 189–204.
- Selmi, L., Canesin, T.S., Gauci, R., Pereira, P. & Coratza, P. (2022). Degradation Risk Assessment: Understanding the Impacts of Climate Change on Geoheritage. *Sustainability*, 14(7), 4262.

Geossítios portugueses na lista dos Primeiros 100 Sítios de Património Geológico da IUGS

Portuguese geosites in the First 100 IUGS Geological Heritage Sites

P. Pereira (1), J. Brilha (1), S. Machado (2), J.X. Matos (2), S. Meneses (3), J.C. Nunes (4), A. Porteiro (5) e A. Sá (6)

- (4) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, paolo@dct.uminho.pt
- (5) Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.
- (6) Associação Geoparque Açores
- (7) Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade dos Açores
- (8) Direção Regional do Ambiente e Alterações Climáticas, Açores
- (9) Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto-Douro

Summary: *The Portuguese geosites in the list of the First 100 IUGS Geological Heritage Sites are presented. The list results from a project sponsored by IGCP-UNESCO and the IUGS, aiming to raise awareness of the importance of geoconservation strategies, the expansion of geological knowledge and the protection of geoheritage with exceptional scientific value and which corresponds to key sites for the understanding of the geological history of the Planet. The three Portuguese geosites to integrate this first set of geosites are the Middle Ordovician Giant Trilobites of Canelas Quarry, the Carboniferous-Triassic Unconformity in Telheiro and the Capelinhos Volcano. The geosites were proposed and selected taking into account scientific criteria that support their global significance.*

Key words: *geoheritage, global significance, inventory, Portugal*

Palavras-chave: *património geológico, relevância global, inventário, Portugal*

Na década de 1990, o grupo de trabalho “Global Geosites” da União Internacional de Ciências Geológicas (IUGS) iniciou o desenvolvimento de uma base de dados de sítios geológicos de relevância internacional (Wimbledon et al., 2000). O projeto teve o apoio da UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura), da IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza) e da ProGEO (Associação Internacional para a Conservação do Património Geológico), tendo sido implementado em vários países europeus. No entanto, não conseguiu a aceitação global que inicialmente ambicionava.

Recentemente, a Comissão Internacional para o Património Geológico da IUGS retomou a ideia de inventariar os principais geossítios do planeta, através da coordenação do projeto IGCP 731 “IUGS Geological Heritage Sites”, patrocinado pela UNESCO, em que participam dezenas de especialistas pertencentes a instituições de investigação, serviços geológicos e geoparques de todo o mundo.

Com a realização deste projeto, procura-se chamar a atenção para a importância das estratégias de geoconservação, de ampliação do conhecimento geológico e da proteção do património geológico de

relevância internacional. Neste contexto, pretende-se que a importância dos geossítios inventariados seja partilhada pela comunidade científica a nível global, salientando-se a relevância da geodiversidade enquanto parte fundamental dos serviços dos ecossistemas.

Os geossítios são selecionados tendo em conta o seu valor científico excecional, correspondendo a locais chave para a compreensão da história geológica do planeta. Numa fase inicial do projeto, um grupo de trabalho discutiu a definição de requisitos para essa seleção, apoiados em critérios como relevância científica internacional, representatividade, estado de preservação, acessibilidade e potencial educativo. Outro grupo de trabalho discutiu os procedimentos de submissão e avaliação dos geossítios.

Seguindo essa metodologia, três geossítios portugueses foram inicialmente submetidos para inventariação, tendo sido selecionados para a primeira lista global de 100 geossítios IUGS, apresentada em outubro de 2022 no evento comemorativo do 60º aniversário da IUGS, em Zumaia (Espanha):

- a jazida de trilobites gigantes de Canelas (Fig. 1a), um dos geossítios do Arouca Geoparque Mundial da

UNESCO, que testemunha os vestígios da vida nos habitats marinhos do Ordovícico Médio; estes fósseis fornecem informação única e valiosa sobre o gigantismo e o comportamento social entre algumas espécies, bem como as suas interações com outros invertebrados também fossilizados (Sá, 2022);

- a discordância angular da Ponta do Telheiro (Fig. 1b), em Vila do Bispo, entre xistos e grauvaques do Pennsylvânico (Carbónico) e os arenitos do Triássico Superior; o elevado valor científico deste geossítio é confirmado pela sua inclusão em quatro diferentes categorias temáticas do inventário nacional de património geológico de relevância nacional e internacional (Brilha et al., 2022);

- o vulcão dos Capelinhos (Fig. 1c), geossítio do Açores Geoparque Mundial da UNESCO, testemunha a primeira erupção freatomagmática (1957/1958) devidamente documentada e estudada em todo o mundo; o interesse e os estudos desenvolvidos pela comunidade científica internacional permitiram obter novos conhecimentos e abriram uma nova página na compreensão dos vulcões submarinos (Nunes et al., 2022).

Estes primeiros 100 sítios de património geológico correspondem a uma lista inicial de geossítios de relevância internacional, não significando que estes sejam os 100 sítios mais importantes à escala mundial, esperando-se que outros geossítios portugueses venham a ser acrescentados a esta iniciativa da IUGS.



Fig. 1. Geossítios portugueses incluídos na lista dos Primeiros 100 Geossítios da IUGS: a) jazida de trilobites gigantes de Canelas (escala=10 cm); b) discordância angular da Ponta do Telheiro; c) vulcão dos Capelinhos.

Agradecimentos: Ao International Geoscience Program (IGCP) da UNESCO pelo suporte ao projeto IGCP 731 “IUGS Geological Heritage Sites” (<https://www.unesco.org/en/igpp/igcp-projects/731>).

Referências

- Brilha, J., Pereira, P., Matos, J.X. & Machado, S. (2022). Carboniferous-Triassic Unconformity in Telheiro. *In: A. Hilario, A. Asrat, B. van Wik de Vries, D. Mogk, G. Lozano, J. Zhang, J. Brilha, J. Vegas, K. Lemon, L. Carcavilla & S. Finney (eds.). The First 100 IUGS Geological Heritage Sites. IUGS, 64-65.*
- Nunes, J.C., Meneses, S. & Porteiro, A. (2022). Capelinhos Volcano. *In: A. Hilario, A. Asrat, B. van Wik de Vries, D. Mogk, G. Lozano, J. Zhang, J. Brilha, J. Vegas, K. Lemon, L. Carcavilla & S. Finney (eds.). The First 100 IUGS Geological Heritage Sites. IUGS, 34-35.*
- Sá, A. (2022). Middle Ordovician Giant Trilobites of Canelas Quarry. *In: A. Hilario, A. Asrat, B. van Wik de Vries, D. Mogk, G. Lozano, J. Zhang, J. Brilha, J. Vegas, K. Lemon, L. Carcavilla & S. Finney (eds.). The First 100 IUGS Geological Heritage Sites. IUGS, 90-91.*
- Wimbledon, W., Ishchenko, A., Gerasimenko, N., Karis, L., Suominen, V., Johansson, C., Freden, C. (2000). GEOSITES - an IUGS initiative: science supported by conservation. *In: D. Baretino, W.A.P. Wimbledon & E. Gallego (eds.) Geological Heritage: its conservation and management. ProGEO, Madrid, 69-94.*

Characterisation of the paleoenvironments from the aspiring Geopark Algarvensis Loulé-Silves-Albufeira: An educative and outreach strategy for communicating geology

Caracterização dos paleoambientes do aspirante Geoparque Algarvensis Loulé-Silves-Albufeira: Uma estratégia educativa e de divulgação para a comunicação da geologia

A. Pierozynska (1), C. Veiga-Pires (2), H. Campos (3) and G. Maurício (4)

- (1) Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA-ARNET), aleksandra.pierozynska@gmail.com
- (2) Universidade do Algarve, Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA-ARNET)
- (3) Câmara Municipal de Loulé
- (4) Câmara Municipal de Loulé

Sumário: Este artigo visa apresentar uma síntese de dados geológicos e paleontológicos previamente publicados, a fim de caracterizar os paleoambientes do território do aspirante Geoparque Algarvensis Loulé-Silves-Albufeira (aspirante à UNESCO). A caracterização está dividida em três fases: o Carbonífero Superior – o mar profundo com uma fauna de goniatites e posterior encerramento do Oceano Reico (Flysch do Baixo Alentejo); o Triássico Superior – o paleoambiente de transição continental a costeiro de Pangeia com anfíbios gigantes e répteis (Grés de Silves); e o Jurássico – a fragmentação da Pangeia e a abertura do mar tropical com corais abundantes e outros invertebrados marinhos (Bacia do Algarve).

Palavras-chave: património geológico, geoconservação, geologia, fósseis, paleoambientes

Key words: geoheritage, geoconservation, geology, fossils, paleoenvironments

The municipalities of Loulé, Silves and Albufeira (southern Portugal), together with the University of the Algarve, through its Centre for Marine and Environmental Research (CIMA-ARNET), are currently working on an application for the aspiring Geopark Algarvensis to become a UNESCO Global Geopark. It covers part of the Loulé-Silves-Albufeira territory (Fig. 1) and contains geological sites of recognized national and international importance for science, education and culture (Geoparque Algarvensis, 2021). The aspiring geopark is still in the early stages of development, but this application plays a significant role in local development and in the overall attention to geoconservation.



Fig. 1. Territory of the aspiring Geopark Algarvensis (Algarvensis Geoparque, 2021).

Paleontology is fundamental to both geology and evolutionary biology. It is the biogeological memory of the Earth, which should be valued in the awareness of

future generations, and for scientific, educational and cultural benefits (Cachão et al., 1999). Therefore, the natural heritage of the Algarvensis goes far beyond the strict framework of geology, becoming a history of global abiotic and biotic arrangements. The ancient stories and their main protagonists will allow for the design of educational, scientific and touristic settings for future visitors, to give "new life" to the aspiring geopark landscapes.

This article is an opportunity to contribute to an ambitious plan for the integrated development of the territory, which aims to collect and organise data from all available evidence (mainly bibliographic), in order to assess the extent of paleoenvironmental variability of the aspiring geopark. This evidence is based not only on the characteristics of the rocks, but also on fossil taxa, their occurrence, diversity, biology and ecology. In addition, a comparison with present-day analogues, based on the principle of uniformitarianism, has been used for scientific communication purposes.

The paleoenvironmental characterisation is divided into three main phases: the Late Carboniferous (the I Wilson Cycle), the Late Triassic (the II Wilson Cycle), and the Jurassic. This classification is based on the geology and fossil assemblage found in the aspiring geopark. Most of the rocks belong to marine sedimentary complexes, and although some layers

indicate fluvial or volcanic genesis, it has been proven that there was a continuous, environmental input from the surrounding marine areas (Lopes, 2014).

The first marine paleoenvironment, and the only one from the Paleozoic era, is represented by the Baixo Alentejo Flysch Group (e.g., Serra landscapes). These rocks were deposited by turbidity currents at the bottom of the deep ocean and consist of a monospecific fossil assemblage, indicating a rather hostile, pelagic environment in which goniatites inhabited a wide range of the water column. Although the cephalopod fossils were found outside the aspiring geopark's territory, it should be emphasised that they belong to the same depositional environment. Their various shell morphotypes indicate numerous ecological niches, making them one of the most successful marine faunal groups of the Late Carboniferous. This environment disappeared at the end of the Carboniferous, when two great land masses collided, consequently closing the ancient Rheic Ocean and forming a single supercontinent Pangea. This final stage of the Wilson Cycle ended the cephalopod paradise, closing the first marine chapter of the Algarvensis. This ancient story is well represented by today's equivalent of the Banda Sea (southern Indonesia), where the only nautiloid hotspot exists.

The second, transitional paleoenvironment, and the first within the Mesozoic era, consists of the Upper Triassic Grés de Silves Group (e.g., Vale Fuzeiros geosite) which contacts, by angular discordance, the Paleozoic basement (Pirinéu geosite). These are the rocks that inspired the Loulé-Silves-Albufeira municipalities to start this unique project, based on the recent discovery of a bonebed of the giant amphibian – *Metoposaurus algarvensis* (Penina geosite). In addition, part of a phytosaur skull, placodont fossils and conchostracans have also been found in the area (e.g., Mateus & Campos, 2018). All the sediments, along with their fossil assemblages, indicate deposition in a rift basin in a transitional,

continental to coastal environment, characterised by dry conditions that led to the existence of temporary ponds and eventually to the formation of evaporites, giving rise to a newly formed sea in the early Jurassic. This paleoenvironment can be compared to the actual nature of the Afar region (East Africa). Just as the Late Triassic activity of the Central Atlantic Magmatic Province (e.g., Torre geosite) and the subsequent breakup of Pangea led to the opening of a new tropical sea (the Algarve Basin), present-day volcanic activity in the East African region led to the opening of the Red Sea.

The last paleoenvironment is associated with the formation of a shallow-water carbonate platform in the Algarve Rift Basin, which in the later Jurassic transformed into a narrow tropical sea with diverse scleractinian corals and other abundant marine invertebrates (e.g., Escarpão Plateau). The complex bioconstructions here yield a great number of fossil taxa that belong to the modern Meso-Cenozoic evolutionary faunas found in today's oceans. This diverse assemblage within the Jurassic reefs has allowed for more detailed characterisation, which tells a story focused on a group of organisms rather than on a particular one. These ancient coral-dominated reefs were already providing a wide range of habitats for diverse marine life. Once again, this scenario resembles perfectly with the nature of the young Red Sea (also the result of the rifting- genesis), which became home to the widely known and abundant fauna of coral reefs. However, the Cretaceous period closed the ancient marine history of the aspiring Geopark Algarvensis, slowly opening a new, Cenozoic chapter of the Algarve we know today.

This work thus manages in presenting a holistic approach in education, conservation and sustainable development, through the valorisation and promotion of natural and cultural heritage: The Aspiring Geopark Algarvensis of Loulé-Silves-Albufeira.

References

- Cachão, M., da Silva, C.M., dos Santos, V.F., Galopim de Carvalho, A.M. (1999). Paleontological heritage as a driving force for Geoconservation: The Portuguese experience. In Barettono, D., Vallejo, M., Gallego, M. (eds), Towards balanced management and conservation of geological heritage in the new millennium, 398 – 401. Madrid.
- Geoparque Algarvensis (2021). Municípios de Loulé, Silves e Albufeira. Last access date in February 2023, website: <https://geoparquealgarvensis.pt/en/about/about-us>.
- Lopes, F. (2014). Novas interpretações do Triásico da parte central da Bacia do Algarve (Portugal). *Comunicações Geológicas*, 101, Especial I, 475 – 479.
- Mateus, O., Campos, H. (2018). Loulé há mais de 220 Milhões de anos: os vertebrados fósseis do Algarve triásico. *Loulé: Territórios, Memórias, Identidades*, 651 – 659. Museu Nacional de Arqueologia, Imprensa Nacional.

Valorização do património geológico nos Passadiços do Paiva (Arouca Geoparque Mundial da UNESCO)

Geoheritage valorisation at the Paiva Walkways (Arouca UNESCO Global Geopark)

D. Rocha (1), A. Paz (1), A. A. Sá (1,2) e P. Pereira (3)

- (1) Arouca Geoparque Mundial da UNESCO, daniela.rocha@aroucageopark.pt
- (2) Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto-Douro
- (3) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho

Summary: *The Passadiços do Paiva (Paiva Walkways), located in the territory of the Arouca UNESCO Global Geopark were inaugurated in 2015 and are one of the main tourist attractions of the region. The project has been recognised internationally with several awards as best tourism development initiative. Along the walkways, visitors have the opportunity to observe five of the 41 geosites of the geopark: Paiva Gorge, Aguieiras Waterfall, Vau, Gola do Salto and Espiunca Fault. In order to enhance the geoheritage interpretation along the walkways and benefit from accessibility, safety and visibility conditions and the high tourism attractiveness, information was produced with accessible language for integration in educational and tourism activities. In addition to data on the geodiversity features, biodiversity and local culture are also explored.*

Key words: *geosites, interpretation, educational activities, touristic use*

Palavras-chave: geossítios, interpretação, atividades educativas, uso turístico

Inaugurados em junho de 2015, os Passadiços do Paiva (PP) são uma das principais atrações turísticas do território do Arouca Geoparque Mundial da UNESCO (AGMU), permitindo o acesso a uma área outrora conhecida apenas por pescadores desportivos e praticantes de desportos de águas bravas. Os Passadiços correspondem a uma estrutura em madeira de pinho tratado, implantada discretamente sobre o substrato rochoso que ladeia a margem esquerda do rio Paiva, ao longo de 8,3 km, entre Areinho e Espiunca. Oito anos após a sua abertura ao público, esta infraestrutura já atraiu cerca de 1,5 milhões de visitantes, contribuindo de forma significativa para o reforço socioeconómico do território do AGMU. Durante este período, surgiram serviços e equipamentos complementares, nomeadamente visitas interpretadas e educativas ao património da área envolvente, parques de estacionamento para automóveis e autocarros, bares e casas de banho, sistemas de bilhética e apoios à limpeza e à conservação. Em 2021 foi inaugurada a ponte pedonal '516 Arouca' sobre o geossítio Cascata das Aguieiras, reforçando a atratividade turística neste setor do rio Paiva.

O valor turístico dos Passadiços está bem evidenciado pelo seu reconhecimento internacional, cujo melhor exemplo são os 16 troféus conquistados desde 2016 no programa World Travel Awards® nas categorias de “Melhor Projeto de Desenvolvimento Turístico da

Europa”, “Melhor Atração de Turismo de Aventura da Europa”, “Melhor Atração de Turismo de Aventura do Mundo”, “Melhor Atração Turística da Europa” e “Melhor Atração de Desenvolvimento Turístico da Europa”.

Ao longo dos Passadiços do Paiva, os visitantes podem observar cinco dos 41 geossítios do AGMU:

- Garganta do Paiva - segmento do Rio Paiva que se prolonga desde a ponte de Alvarenga até ao Vau; o rio encontra-se encaixado neste sector devido à erosão diferencial entre o granito que aqui aflora, mais resistente à erosão, e as rochas metassedimentares envolventes;

- Cascata das Aguieiras - queda de água com cerca de 160 metros de altura, correspondente a um *knick-point* no percurso da ribeira das Aguieiras, próximo da confluência com o rio Paiva; a ribeira das Aguieiras drena a região de Alvarenga e instala-se em falhas no granito de Alvarenga que promovem o seu encaixe sobre as escarpas graníticas que ladeiam a margem direita do rio Paiva;

- Vau - contato entre o granito de Alvarenga e rochas metassedimentares, com expressão na morfologia do vale do Paiva; a montante da ponte suspensa do Vau, onde aflora o granito, o vale é mais estreito e com vertentes mais declivosas; a jusante, é mais alargado, com vertentes mais suaves e menor declive

longitudinal, favorecendo a deposição de sedimentos nas margens, que originam a praia do Vau;

- Gola do Salto - local onde o rio Paiva apresenta maior declive longitudinal, traduzido por um "salto" de quatro metros resultante da ação conjugada de duas falhas com orientação N-S e NE-SO, que levantam localmente o leito do rio; a jusante da Gola do Salto, devido ao referido desnível, observa-se uma elevada ação erosiva no leito do rio, com desenvolvimento de marmitas de gigante de grande dimensão;

- Falha da Espiunca - afloramento no talude de estrada, com exposição de bancadas de quartzito interrompidas por falha normal com rejeito de 170 cm; este local é particularmente importante pela facilidade de observação e pela dimensão da estrutura geológica que controlou o movimento vertical das bancadas quartzíticas.

O valor científico destas ocorrências esteve na base da sua inventariação como geossítios do AGMU (Rocha,

2008), e justificou a implementação dos Passadiços nesse setor do vale do Paiva.

Com vista à valorização do património geológico dos Passadiços do Paiva, foram produzidos conteúdos com linguagem acessível para integração nas atividades educativas e turísticas aí desenvolvidas. Para além de informação sobre os elementos da geodiversidade, são igualmente explorados os aspetos da biodiversidade e da cultura local. A observação destes elementos é favorecida pela existência dos Passadiços, que oferecem melhores acessibilidade, segurança e condições de visibilidade aos visitantes. A ocorrência neste setor de quatro dos principais rápidos do rio Paiva (Parede, Salto, Escadinhas e Três Saltinhos) e de outros valores naturais e culturais no mesmo é outro fator de atratividade (Rocha et al., 2017), o que se reflete nas estratégias de promoção turística do AGMU e nas várias iniciativas educativas e turísticas desenvolvidas no terreno.

Referências

- Rocha, D. (2008). Inventariação, caracterização e avaliação do património geológico do concelho de Arouca. Tese de mestrado, Universidade do Minho, Braga.
- Rocha, D., Neves, R., Duarte A., Vilar, O. & Bernardo, V. (2017). Paiva Walkways: an example of sustainable management in Arouca Unesco Global Geopark (Portugal). In E. Lima, J.C. Nunes, P. Meirinho & M. Machado (Eds) 14th European Geoparks Conference Abstracts Book, Ponta Delgada, 25.

Contributo dos Geoparques Mundiais da UNESCO portuguesas para a proteção e valorização do Património Geológico nacional

J. Rodrigues (1), C. N. Carvalho (1), S. Meneses (2), E. Lima (2), J. Alves (3), D. I. Pereira (3), A. Morais (3), E. Castro (4), F. Loureiro (4), D. Rocha (5), A. Paz (5) e A. A. Sá (5)

- (1) Naturtejo Geoparque Mundial da UNESCO, joana.rodrigues@naturtejo.com
- (2) Açores Geoparque Mundial da UNESCO
- (3) Terras de Cavaleiros Geoparque Mundial da UNESCO
- (4) Estrela Geoparque Mundial da UNESCO
- (5) Arouca Geoparque Mundial da UNESCO

Summary: *Since 2006 were designated five UNESCO Global Geoparks in Portugal: Naturtejo, Arouca, Azores, Terras de Cavaleiros and Estrela. In these territories, covering approximately 11% of the national territory, there are more than 500 geosites inventoried, fundamental for understanding relevant chapters of the Portuguese geological history. Each of these Geoparks manages geological heritage as a basis of local sustainable development, included in conservation, education and tourism strategies. As such, despite the lack of specific legal framework and influence on national policies, urging for dedicated lines of investment, their contribution to the detailed study and promotion of Portuguese geodiversity and geological heritage is of utmost importance.*

Key words: UNESCO Global Geoparks, geoheritage, inventory, geoconservation, sustainable development

Palavras-chave: Geoparques Mundiais da UNESCO, património geológico, inventário, geoconservação, desenvolvimento sustentável

Em Portugal existem atualmente cinco Geoparques Mundiais da UNESCO (GMU): Naturtejo, Arouca, Açores, Terras de Cavaleiros e Estrela (Fig. 1), designados no âmbito do Programa Internacional de Geociências e Geoparques da UNESCO e atuando no contexto das Redes Global, Europeia e Portuguesa de Geoparques. Cada um destes GMU tem como base das suas estratégias de desenvolvimento sustentável o património geológico, assumido um papel preponderante na implementação da Agenda 2030. Todos eles foram já distinguidos com o Prémio Geoconservação, atribuído pela ProGEO Portugal.

De acordo com a legislação nacional (Decreto-Lei 142/2008, alterado pelo Decreto-Lei n.º 242/2015), os GMU são áreas naturais classificadas de carácter supranacional, ao abrigo de instrumentos jurídicos internacionais, como o Conselho Executivo da UNESCO. Não sendo áreas protegidas, os GMU não possuem planos de ordenamento e a proteção legal do seu património geológico é feita através de várias ferramentas de gestão territorial, nomeadamente através dos planos regionais de ordenamento de território e dos planos diretores municipais, do regime jurídico da conservação da natureza e até de figuras de classificação constantes na Lei de Bases do Património Cultural. Ao mesmo tempo, os GMU não são figuras de proteção em sentido restrito e grande parte das suas estratégias de geoconservação passa pela educação e

pelo envolvimento dos agentes locais e visitantes na preservação do património geológico

A designação dos Geoparques Mundiais da UNESCO tem como premissa a existência de património geológico de relevância internacional. Porém, os seus inventários refletem a sua escala territorial e incluem, não só os geossítios de relevância internacional e nacional, mas também os de âmbito regional e local, essenciais para o desenvolvimento de estratégias locais. Nesse sentido, estão atualmente inventariados 529 geossítios nos GMU nacionais, dispersos por uma área total de 21.194 km², que inclui a zona marinha envolvente do Arquipélago dos Açores, correspondentes a 37 municípios e a mais 11% do território nacional emerso (Tab. 1).

Nesses inventários constam alguns dos sítios mais representativos da geodiversidade nacional, locais-chave para a compreensão de uma parte significativa história geológica do país. Estes instrumentos são as ferramentas basilares para o estabelecimento de estratégias específicas de geoconservação, educação e turismo, enquanto eixos prioritários dos Geoparques e também para o ordenamento do território e para a conservação da natureza.

Tabela 1 – Geossítios inventariados nos Geoparques Mundiais da UNESCO

Geoparque Mundial da UNESCO	N.º Geossítios	Área (km²)
Naturtejo	177	5067
Arouca	41	328
Açores	121	12 884 (2324 área emersa)
Terras de Cavaleiros	43	699
Estrela	147	2216
Total	529	21194

Apesar da insuficiente moldura legal específica para o património geológico no nosso país, os GMU têm tido um papel fundamental na sua inventariação, conservação, valorização e promoção. Desde a criação do primeiro Geoparque em Portugal, em 2006, muitos geossítios foram estudados, protegidos e valorizados, com grandes investimentos feitos pelos Geoparques e pelas autoridades regionais e municipais. Alguns deles

tornaram-se locais de referência do ponto de vista educativo, plasmados em manuais escolares, exames nacionais e de visita quase obrigatória para formação de alunos, professores e investigadores. Outros tornaram-se importantes pontos de atração turística, alguns deles verdadeiros ícones da oferta turística nacional.

É atualmente indiscutível o particular contributo dos GMU para o conhecimento detalhado da geodiversidade e do património geológico a nível nacional, assim como a sua proteção, valorização e inclusão nas mais diversas estratégias de desenvolvimento local, incluindo a sua promoção nacional e internacional. Contudo, faltam mecanismos de financiamento específicos que efetivem o estudo, proteção e valorização da totalidade dos geossítios, um dos objetivos prioritários a alcançar enquanto geoparques UNESCO, e que urge serem disponibilizadas por distintas autoridades e entidades públicas e privadas nacionais.

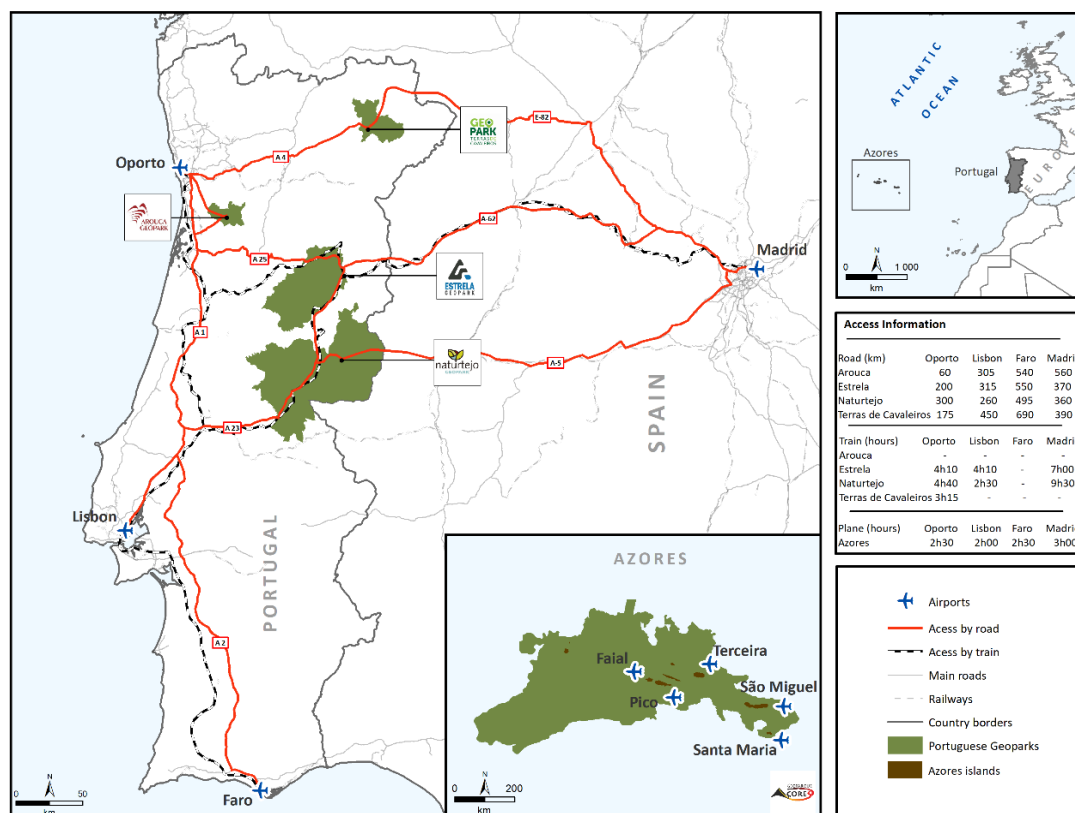


Fig. 1. Distribuição dos Geoparques Mundiais da UNESCO em Portugal

Projeto de geoconservação das lajes do Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios de Ourém/Torres Novas e da Jazida de Pegadas de Dinossáurios de Vale de Meios – desafios e consecução

Geoconservation project for the slabs of the Natural Monument of Dinosaur Footprints in Ourém/Torres Novas and the Dinosaur Footprint Site in Vale de Meios – challenges and achievement

A. A. Sá (1), D. Fernandes (2), E. Gonçalves (2), A. Padrão (2), R. Lamas (2), T. Silveira (3) e L. Mergulhão (4)

- (1) Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, asa@utad.pt
- (2) Floradata –Biodiversidade, Ambiente e Recursos Naturais, Lda
- (3) Ca CO3 – Conservação e Restauro do Património Artístico
- (4) Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

Summary: Geoconservation is an essential part of nature conservation, especially in protected areas. As part of a project to “Enhance the Geological Heritage of the Serras de Aire e Candeeiros Natural Park” (Central Portugal), geoconservation work was carried out on the slabs of the Natural Monument of the Dinosaur Footprints of Ourém/Torres Novas (Galinhá’s quarry) and of the Dinosaur Footprint Site in Vale de Meios quarry. The main geoconservation measures implemented included the installation of drainage networks and the execution of measures to properly consolidate footprints and weaker areas of the rocky massifs. To eliminate anthropogenic degradation of footprints, related to trampling during visits, and to facilitate viewing and learning during visits, wooden walkways were installed on both outcrops.

Key words: *Dinosaur Footprints, geological heritage, geoconservation*

Palavras-chave: Pegadas de Dinossáurios, Património Geológico, Geoconservação

A geoconservação é uma parte essencial da conservação da natureza, em especial nas áreas protegidas, quer em si mesma, quer pelas suas contribuições potenciais para a agenda global de conservação e sustentabilidade da natureza (Gordon et al., 2018). Além disso, a geoconservação inclui a gestão, proteção e promoção do geopatrimónio por meio da interpretação e educação. Neste sentido, a atribuição ao geopatrimónio de um conjunto alargado de valores, fundamenta a necessidade de implementação de medidas de proteção e conservação, de forma a garantir a salvaguarda desta herança para as gerações vindouras.

Tendo por base o contexto acima referido, e no âmbito do Concurso Público n.º 01/2021/ICNF/DRCNF – LVT, para a aquisição de serviços para a Valorização do Património Geológico do Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros (Operação POSEUR-03-2215-FC-000116), foi desenvolvido um trabalho de geoconservação das lajes do Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios de Ourém/Torres Novas (Pedreira do Galinha) e da Jazida de Pegadas de Dinossáurios de Vale de Meios.

Neste âmbito, na superfície inclinada da ‘Pedreira do Galinha’, foi dada particular atenção aos icnitos de saurópodes que, conservados ao longo de 175 milhões de anos, são considerados como um dos valores paleontológicos mais importantes desta tipologia a nível internacional. A maioria dos trilhos exhibe impressões muito bem preservadas de pés e mãos de grandes saurópodes. Os dez trilhos cientificamente mais importantes em termos de comprimento, preservação, significado, e classificação das pegadas foram previamente estudados por Santos et al. (2009, com referências prévias) e Castanera et al. (2014). Nesses trabalhos foram identificados dois trilhos de grande comprimento: *i)* o trilho G1, com 147 m de longitude, composto por 97 conjuntos consecutivos de impressões pé-mão, cujas características permitem atribuir esses icnitos a *Polyonyx* isp. (Santos et al., 2009); *ii)* o trilho G5, com 142 m de extensão e 94 conjuntos consecutivos de impressões pé-mão, identificados como pertencentes à icnoespécie *Polyonyx gomesi* (Santos et al., 2009). Os trilhos G1 e G5 em conjunto com os G2 e G3 foram considerados os mais importantes e prioritários para esta intervenção de geoconservação.

No que respeita às pegadas da Pedreira de Vale dos Meios, constituem a maior e mais significativa jazida

com icnitos de terópodes do Jurássico Médio (ca. 167 Ma) da Península Ibérica. Para além disso, a recente atribuição por Razzolini et al. (2016) da generalidade das pegadas tridáctilas observadas ao icnogénero *Megalosauripus*, faz com que esta seja a ocorrência mais antiga conhecida deste icnotáxon. Atualmente estão quantificados 80 trilhos de pegadas de dinossáurios tridáctilos e pelo menos três pistas com pegadas de saurópodes, na superfície sub-horizontal desta pedraira.

Atendendo às condicionantes associadas ao pendor das superfícies, fraturação dos maciços rochosos, coberto vegetal, escorrência das águas pluviais, acumulação e abrasão de detritos, e pisoteio durante as visitas, foram efetuados estudos, levantamentos e monitorizações de grande detalhe, focados em múltiplos aspetos. Estes contemplaram análises da composição mineralógica e petrográfica das rochas calcárias, abrangendo propriedades petrofísicas e mecânicas. Incluíram também uma caracterização geológica e estrutural, com levantamento e análise de parâmetros físico-químicos de campo, que contemplaram estudos de fatores meteorológicos, climáticos e hidrológicos, característicos de cada local. Com base nos resultados obtidos e tendo em consideração as limitações de tempo, as condicionantes económicas e a realidade geológico-climática, sempre com o foco na necessidade de uma efetiva geoconservação destes afloramentos, procedeu-se à definição de medidas de conservação que permitiram obviar ou minimizar os processos de meteorização em curso.

As principais medidas de geoconservação implementadas contemplaram a instalação de redes

de drenagem e a execução de medidas de consolidação das pegadas e das zonas mais fragilizadas das superfícies rochosas.

No caso específico da 'Pedreira do Galinha', as pegadas foram lavadas do coberto de líquenes que cobre toda a superfície, o que permitiu obter um contraste que permite a visualização fácil dos quatro trilhos que foram alvo de intervenção prioritária (Fig. 1).

Por último e tendo como objetivo, por um lado, eliminar a degradação antropogénica das pegadas, relacionada com o pisoteio durante as visitas, e por outro lado, facilitar a visualização e aprendizagem durante as visitas, foram instalados passadiços de madeira em ambos os afloramentos.



Fig. 1. Aspeto do trilho G1 da 'Pedreira do Galinha' após trabalhos de geoconservação.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao ICNF – Direção Regional da Conservação da Natureza e das Florestas de Lisboa e Vale do Tejo, pela disponibilidade demonstrada, assim como pela disponibilização de informação e acompanhamento.

Referências

- Castanera, D., Vila, B., Razzolini, N.L., Santos, V.F., Pascual, C. & Canudo, J.I. (2014). Sauropod trackways of the Iberian Peninsula: palaeoethological and palaeoenvironmental implications. *Journal of Iberian Geology*, 40, 49-59.
- Gordon, J.E., Crofts, R., Díaz-Martínez, E. & Woo, K.S. (2018). Enhancing the role of geoconservation in protected area management and nature conservation. *Geoheritage*, 10, 191-203
- Razzolini, N. L., Oms, O., Castanera, D., Vila, B., Santos, V.F. & Galobart, À. (2016). Ichnological evidence of Megalosaurid Dinosaurs Crossing Middle Jurassic Tidal Flats. *Scientific Reports*, 6:31494, 1-15.
- Santos, V.F., Moratalla, J.F. & Royo-Torres, R. (2009): New sauropod trackways from the Middle Jurassic of Portugal. *Acta Palaeontologica Polonica*, 54(3), 409–422.

Mais que turismo de sol e praia: o geoturismo no Litoral Sul de Pernambuco (Brasil)

More than sun and beach tourism: the geotourism on the south coast of Pernambuco (Brazil)

A.A. Sá (1), T. Guimarães (2) e G. Mariano (3)

- (1) Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, asa@utad.pt
- (2) Universidade de Pernambuco
- (3) Universidade Federal de Pernambuco

Summary: *The State of Pernambuco is located in the Northeast region of Brazil. It has approximately 187 longitudinal km of beaches, containing bays, spurs, estuaries, mangroves, natural pools and other attractions that make Pernambuco one of the main tourist destinations for sun and beach in Northeast Brazil. However, it is a region that has much more than "sun and beach", being famous for its history, culture and gastronomy. It also has important fauna and flora, with occurrences of species from the Atlantic Forest and mangrove vegetation, as well as a geoheritage with plutonic and volcanic rocks that mark the formation of the South Atlantic Ocean and sediments arranged at different levels indicative of past eustatic sea level fluctuations. In this scenario, the aforementioned elements are connected, revealing the great potential of this region for the development of geotourism linked to sustainable territorial development initiatives.*

Key words: *Gondwana, geodiversity, geoheritage, geotourism.*

Palavras-chave: Gondwana, geodiversidade, geopatrimônio, geoturismo, arqueologia

O Litoral Sul de Pernambuco está localizado no nordeste brasileiro. Os elementos abióticos locais destacam-se, visivelmente das demais áreas litorais do Estado (Litoral Norte e Metropolitano). Os elementos geológicos, geomorfológicos e hidrográficos são os principais responsáveis por essa diferenciação da paisagem e do território. Contudo, elementos paleontológicos, pedológicos e de recursos minerais também estão identificados, ainda que com menor relevância. No que respeita ao enquadramento geológico, a região possui litologias e características bastante diversas.

Nesse sentido, destacam-se os elementos tectônicos associados ao estágio final da separação do paleocontinente Gondwana, que resultou na configuração atual dos continentes Sul Americano e Africano. Nesse contexto, cabe destacar os elementos mineralógicos e magmáticos associados ao vulcanismo ocorrido durante o Cretácico nessa região, que esteve na origem de rochas únicas no Estado, entre elas riolitos, traquitos, basaltos e ignimbritos (Lima Filho et al., 2006). As rochas sedimentares também estão amplamente representadas na região, de que são exemplo os arenitos de praia (*beachrocks*), dispostos linearmente ao longo de vários pontos a costa, e as rochas pertencentes às formações sedimentares da Bacia Sedimentar de Pernambuco. Assim, é possível destacar o interesse paleogeográfico que está

associado aos *beachrocks* e o seu elevado valor científico, por refletirem um nível relativo do mar mais alto do que o atual durante o Holocénico (Guimarães et al., 2016).

A diversidade paisagística da região confere-lhe atualmente o título de destino mais procurado no Estado para aqueles que estão buscando o "turismo de sol e praia". Entretanto a região tem potencial para agregar valor à atividade turística e oferecer aos frequentadores muito mais que lazer, incluindo experiências de contacto com a natureza e de conhecimento. Neste contexto, o geoturismo assume-se como um suporte decisivo para a geoconservação, difusão do conhecimento e desenvolvimento territorial sustentável, contribuindo para a divulgação, valorização e conservação dos elementos naturais do meio abiótico.

Assim, é possível citar como principais atrativos geoturísticos as formações geológicas e feições geomorfológicas (Fig. 1). Contudo, contrariamente ao que o prefixo "geo" permite inferir, vão muito mais além da realidade dos elementos exclusivamente geológicos. Assim, associados ao usufruto da atividade geoturística estão interesses didáticos, científicos, históricos e culturais.

O presente trabalho destaca o potencial geoturístico do Litoral Sul de PE, pondo em evidência que em

qualquer território, onde haja geodiversidade e geopatrimônio relevante, bem como comunidades locais que promovam as suas atividades, é possível difundir uma atividade turística interdisciplinar, de efetivo desenvolvimento territorial, que agregue valor

às atividades preexistentes, de forma integradora, participativa e baseada nos princípios do desenvolvimento sustentável.

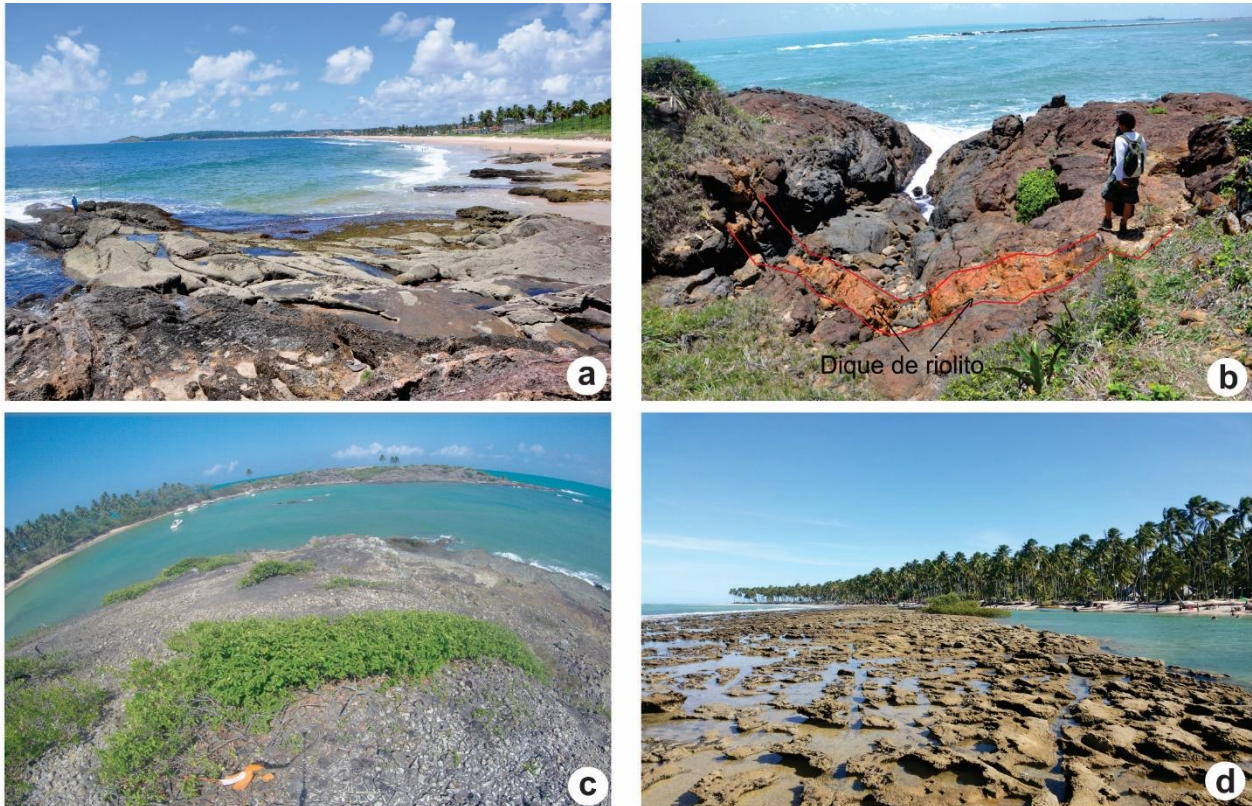


Fig. 1. Rochas e paisagens do Litoral Sul de Pernambuco. (a) Derrame de traquitos (rocha vulcânica), ao fundo é possível ver a Praia de Gaibu (Cabo de Santo Agostinho). (b) Dique de riolito (rocha vulcânica) nas proximidades da Vila de Nazaré. (c) Parte da Ilha vulcânica de Santo Aleixo, também formada por riolitos (Sirinhaém). (d) Linha de arenitos de praia, comumente referenciados como beachrocks, na Praia de Carneiros (Tamandaré) (Fonte: Autores).

Agradecimentos: Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil); à FACEPE (Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco); à FCT, I.P., no âmbito do projeto UIDP/00073/2020 da unidade de I&D do Centro de Geociências (CGeo, Universidade de Coimbra); e à Cátedra UNESCO de 'Geoparques, Desenvolvimento Regional Sustentáveis e Estilos de Vida Saudáveis, pelos apoios concedidos.

Referências

- Guimarães, T., Mariano, G., Barreto, A., & Sá, A. A. (2017) Beachrocks of Southern Coastal Zone of the State of Pernambuco (Northeastern Brazil): geological resistance with history. *Geoheritage*, 9, 111-119.
- Guimarães, T., Mariano, G., & Sá, A. A. (2016) *Roteiros Geoturísticos no Litoral Sul de Pernambuco*. Vol. 26(3) Especial. 1-47.
- Lima Filho, M., Barbosa, J.A. & Souza, E.M. (2006) Eventos tectônicos e sedimentares nas bacias de Pernambuco e da Paraíba: implicações no quebraamento do Gondwana e correlação com a bacia do rio muni. *Geociências*, São Paulo, UNESP, v. 25, n. 1. 117-126.

O Museu Regional do Dundo e a sua envolvente geológica na Província da Lunda Norte

The Regional Museum of Dundo and the geology of the Lunda Norte Province

I. Tshibango-André (1,2), P. S. Andrade (3*), P. M. Callapez (2,4) e J. M. Brandão (2,5)

- (1) Diretor Geral do Museu Regional do Dundo, EN180, Dundo, Lunda Norte, Angola.
- (2) Universidade de Coimbra, CITEUC - Centro de investigação da Terra e do Espaço da Univ. Coimbra, FCTUC, Dep. Ciências da Terra da Univ. Coimbra, Portugal
- (3) Universidade de Coimbra, CGeo - Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Dep. Ciências da Terra da Univ. Coimbra, Portugal, R. Sílvio Lima, Polo II, 3030-790 Coimbra. pandrade@dct.uc.pt
- (4) Grupo de Investigación Paleolbérica, Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, España.
- (5) HTC - História, Territórios e Comunidades, polo na NOVA FCSH do / Centro de Ecologia Funcional, Universidade de Coimbra

Summary: *The Regional Museum of Dundo began its activities in 1936 and is one of the most important museums in Angola. The important areas of the museum collections are, in addition to Geology, Ethnography, Archaeology, Zoology and Botany. In the ongoing project on Regional Museum of Dundo, the following methodology is considered: bibliographic and cartographic analysis; inventorying, description of collections and analysis of exhibition spaces; field inventory; laboratory and office work. The various stages of work will allow the expansion of the Regional Museum of Dundo collections, as well as a more complete integration of the museum in terms of geological knowledge.*

Key words: *Museum, Dundo, Geology, Lunda Norte, Angola*

Palavras-chave: Museu, Dundo, Geologia, Lunda Norte, Angola

O Museu Regional do Dundo (MRD) teve o início das suas atividades em 1936 e cedo correspondeu a um dos principais museus de Angola. Deve destacar-se a sua relação multifacetada e sempre presente com a região envolvente, designadamente com o espaço natural e antrópico da província da Lunda Norte, a qual se localiza no Nordeste de Angola e corresponde a uma área em que se verifica a prospeção e exploração de diamantes, desde o início do século XX.

A criação do MRD está estritamente relacionada com a ex-Companhia de Diamantes de Angola (Diamang), presentemente ENDIAMA, que administrou o museu durante várias décadas. É, também, de destacar a revista científica da Diamang, que propiciou a divulgação dos estudos e divulgação do espólio do museu, designadamente nas áreas da Mineralogia e da exploração mineira, sobretudo a relacionada com a atividade diamantífera. Outras áreas importantes e presentes no acervo, são a Etnografia, a Arqueologia, a Zoologia e a Botânica.

Para um estudo relativo ao MRD, bem como do seu potencial desenvolvimento futuro, é importante efetuar uma descrição das várias secções museológicas, bem como da sua importância patrimonial e efetuar um levantamento de potenciais locais de interesse geológico na área da Lunda. Nesse sentido, no âmbito de um projeto doutoral em curso no Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, pretende-se promover o

desenvolvimento das coleções geológicas do museu e implementar a criação de roteiros geoturísticos, bem como de possíveis novos polos museológicos.

A província da Lunda Norte apresenta um clima tropical quente e húmido de acordo com a classificação racional de Thornithwaite, com um período de precipitação de nove meses, desde setembro a maio, bem como uma estação seca de cerca de 90 dias entre os meses de junho e agosto (Diniz, 2006). Esta parte de Angola corresponde em termos orográficos, a uma região de planaltos médios, evidenciando uma ou várias superfícies de aplanamento terciárias e uma quaternária (Marques, 1977). Os rios apresentam uma idade relativamente recente e são responsáveis pelos processos erosivos no planalto, que podem atingir a base cratónica. De acordo com Pereira et al. (2003) verifica-se a existência de dois grandes conjuntos geológicos: Terrenos do substrato do Pré-Câmbrico até ao Paleozoico Inferior, e Terrenos de cobertura de idade do Carbonífero superior ao Pleistocénico. Na área da Lunda Norte ocorrem rochas granitoides e migmatitos que evidenciam uma foliação intensa. É de salientar a presença de granitos-gnaissicos ou gnaisses que pertencem à base do Pré-Câmbrico. Deve destacar-se que os afloramentos destas rochas granitoides e migmatíticas se situam nos leitos e nas zonas próximas das linhas de água. Verifica-se, também, a existência dos Grupos Metamórficos Inferior e Superior de idade

proterozoica, o primeiro dos quais constituído essencialmente por anfibolitos, gneisses e granitos gnaissicos, xistos e quartzitos, enquanto o último se apresenta composto por xistos e filitos, quartzitos, calcários metamorfizados, filádios e meta-arenitos com intercalações conglomeráticas. O soco pré-câmbrico é sobreposto por formações dos períodos Carbonífero e Pérmico, verificando-se a presença de depósitos de cobertura constituídos por areias e conglomerados de idade mais recente e que se posicionam superiormente às formações do Paleozoico Superior. Nestes depósitos enquadra-se o Sistema do Karroo, com rochas sedimentares continentais com idades até ao Jurássico Superior. Deve destacar-se, igualmente, nos depósitos de cobertura, a Formação de Calonda que corresponde a um importante depósito secundário de diamantes (Pereira, 2003). Verifica-se, por fim, a presença, na área das Lundas, de depósitos de cobertura do Quaternário, constituídos por areias de tonalidades vermelhas e amareladas.

No projeto em curso sobre o MRD e da sua envolvente geológica, desenvolve-se a seguinte metodologia: 1) Análise bibliográfica e cartográfica; 2) Inventariação, descrição das coleções, dos espaços de exposição e reservados; 3) Inventariação de campo, 4) Trabalho laboratorial e de gabinete.

A análise bibliográfica e cartográfica permite selecionar um conjunto de estudos e trabalhos que estão relacionados com a temática e área em estudo, de modo a permitir a investigação e sustentar a sua qualidade. Devem destacar-se, como elementos importantes da literatura, a revista do MRD e a sua excelente biblioteca temática.

Na inventariação e descrição das coleções do MRD, consideram-se materiais e matérias-primas geológicas

relacionados com aspetos da geologia regional, com práticas de mineração, em particular com as da exploração diamantífera e com a extração de rochas com fins industriais. Integrado, também, na fase de inventariação e descrição deve considerar-se o fabrico de utensílios em pedra e cerâmica, em particular na utilização da pedra lascada e/ou polida, e nas atividades tradicionais de olaria e ourivesaria. Nesta parte do estudo encontram-se em curso a inventariação e descrição dos objetos existentes, de modo a efetuar uma análise dos espaços e permitir, deste modo, uma melhoria das condições e dos materiais expostos.

O trabalho de campo compreende duas fases, das quais a primeira se relaciona com o reconhecimento preliminar da área de estudo. Esta prospeção de campo é efetuada de modo a definir os vários locais que se revelem interessantes em termos naturais e culturais. Uma fase posterior está relacionada com a seleção de locais de importância geológica (LIG's) de modo a permitir a sua descrição e respetiva valorização. Nestes LIG's deverá efetuar-se, também, a recolha de amostras com importância museológica e potenciar o seu uso como extensões do MRD.

Na etapa de trabalho laboratorial e de gabinete efetua-se a preparação das amostras selecionadas, de acordo com as suas características. Esta preparação poderá passar por operações de lavagem, crivagem, limpeza mecânica e química. As amostras, depois de classificadas serão incorporadas em coleções, das quais serão selecionados exemplares para exposição.

O conjunto das várias etapas de trabalho, em particular o de inventariação de campo, irá permitir a ampliação dos acervos do MRD e uma mais completa integração do museu no espaço geológico envolvente.

Agradecimentos: P.S. Andrade e P.M. Callapez agradecem à ENDIAMA E.P., Fundação Brilhante e Museu Regional do Dundo o suporte logístico e financeiro para a realização de viagens, trabalho de campo e de museu na região do Dundo. P. S. Andrade agradece ao Centro de Geociências (CGeo) pelo apoio no âmbito dos projetos estratégicos da FCT, UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020. P.M. Callapez agradece ao CITEUC pelo apoio no âmbito do projeto estratégico da FCT, UID/Multi/00611/ 2020.

Referências

- Diniz, A.C. (2006). Características Mesológicas de Angola. Descrição e correlação dos aspectos fisiográficos, dos solos e da vegetação das zonas agrícolas angolanas. IPAD, Lisboa, Portugal. 2ª edição, 150-165.
- Marques, M.M. (1977). Esboço das grandes unidades geomorfológicas de Angola (2ª aproximação). Centro de Estudos de Pedologia Tropical – Junta de Investigação Científicas do Ultramar, Lisboa. Garcia de Orta, Série Geológica, Lisboa, 2(1), 41-44.
- Pereira, E., Rodrigues, J. & Reis, B. (2003). Synopsis of Lunda Geology, NE Angola: Implications of diamond exploration, Comunicações do Instituto Geológico Mineiro, 90, 189-212.

The aspiring UNESCO Global Geopark Algarvensis

O aspirante Algarvensis a Geoparque Mundial da UNESCO

C. Veiga-Pires (1,2), S. Oliveira (2,3), L. Pereira (2,4), H. Campos (2,5), G. Maurício (2,5), T. Carçoço (2,6) and D. Paulo (2,5)

- (1) University of Algarve , CIMA, Centre of Marine and Environmental Research\ARNET - Infrastructure Network in Aquatic Research, Campus de Gambelas, 8000-139 Faro, Portugal, *cvpires@ualg.pt
- (2) Aspiring UNESCO Global Geopark Algarvensis,
- (3) CIMA, Centre of Marine and Environmental Research\ARNET - Infrastructure Network in Aquatic Research, Campus de Gambelas, 8000-139 Faro, Portugal,
- (4) Municipality of Albufeira
- (5) Municipality of Loulé
- (6) Municipality of Silves

Sumário: *Situado na região mais a sudoeste da Europa, o aspirante Algarvensis a Geoparque é um território identitário e inspirador que visa contribuir para uma maior coesão social e territorial dos concelhos de Loulé, Silves e Albufeira, através de uma política de valorização do território, baseada no conceito de Geoparque UNESCO, com o apoio da Universidade do Algarve.*

Trata-se de um projeto integrador e potenciador de uma maior valorização e promoção do património local e regional a nível internacional, pretendendo acima de tudo, contribuir para a preservação do seu património geológico e cultural. A sua missão reside em promover a proteção, a valorização e a dinamização do património natural e cultural, destacando o património geológico, através da criação de conhecimento científico e educativo, a fim de proporcionar o desenvolvimento socioeconómico e sustentável do território, a fixação de pessoas e promoção da sua qualidade de vida.

Palavras-chave: *património geológico e cultural, geodiversidade, sustentabilidade ambiental, económica e social*

Key words: geological and cultural heritage, geodiversity, environmental, economic and social sustainability

Background

In 2019, the UNESCO National Commission accepted to recognize the aspiring UNESCO Global Geopark Algarvensis (aUGGp Algarvensis) based on its geological heritage of international and national importance. With an area of about 1381 km² belonging to three municipalities of the central Algarve, the project is co-headed by the municipalities of Loulé, Silves and Albufeira, the University of Algarve and the Marine and Environmental Research Centre (CIMA/ARNET-Ualg). It combines a geoconservation strategy and a set of environmental education and awareness policies, to the promotion of a sustainable socio-economic development based on geotourism activities, involving local communities, and contributing to the valorisation and promotion of local products. This strategy of sustainable development combined with the geology of the region allowed the limits of the aUGGp Algarvensis to be defined, forming a cohesive territory which does not extend to the sea and which has 48.8% of its area made up of parishes considered to have a low population density (Fig. 1). It should be noted that the name and logo of this aspirant refer to the remarkable geological heritage of world reference that is the *Metoposaurus algarvensis*,

a new Triassic fossil species discovered near the village of Penina.

Geodiversity

Being the westernmost European and only Portuguese aspiring geopark south of the Tagus, the aUGGp Algarvensis territory and its colourful landscapes are the testimony of a geological history that tells the cycle of ancient Variscan Orogeny (Permian and Triassic) and ancient Rheic and Thetys seas (Carboniferous and Jurassic) including the Central Atlantic Magmatic Province (CAMP), and extends until nowadays (Quaternary) (e.g. Rodrigues et al., 2015; Terrinha et al., 2006; Fig. 1).

The surface and underground landscapes of the territory of the aUGGp Algarvensis hide a great geodiversity of geosites, which survey and inventory are still in progress:

- To the north, in the "brown Algarve" made of schists and grauvaques from the Baixo Alentejo flysch sequence, the landscape of the *Serra do Caldeirão* is characterized by hills separated by embedded valleys (*barrancos*).

- In the "red Algarve", a depression known as the *Beira-Serra*, we can find the *Grès de Silves* Formation in which the "bonebed" deposit of *Metoposaurus*

algarvensis fossils was found but also the CAMP volcano-sedimentary sequence, representing the early stage of the Algarve meso-cenozoic basin.

- In the "Silver Algarve", further south, the *Barrocal* is dominated by marine limestones forming a characteristic karst morphology, represented by dolines, polders, karren fields, caves or karst aquifers.

Biodiversity

The territory of the aUGGp Algarvensis encompasses the three environmental landscape units of the Algarve, the uplands or *Serra*, the *Barrocal* and the littoral, which allows the occurrence of a high diversity of ecosystems, with emphasis on characteristic and identifiable habitats of a rural Algarve, enabling the presence of a considerable number of endemic species with high conservation value and scientific interest.

This territory has around 57 % of its surface area classified according to the National System of Classified Areas (SNAC), of which the most important are the Local Protected Landscapes of Rocha da Pena

and Fonte Benémola, areas integrated in the National Network of Protected Areas (RNAP), six Sites of Community Importance (SCI - Monchique, Arade/Odelouca, Ribeira de Quarteira, Barrocal, Caldeirão and Gadiana) and two Special Protection Areas (SPA - Caldeirão and Monchique) areas integrated in the Natura 2000 Network. It also has a Wetland of International Importance for waterfowl and fish under the RAMSAR Convention, the *Vascão* Rivulet and an Important Bird Area (IBA) in the *Caldeirão* mountains.

Cultural Diversity

Although poorly known, the territory of the aUGGp Algarvensis contains a very rich and diverse cultural heritage with 228 listed and referenced sites, including different types of heritage, namely cultural, tangible and intangible. However, cultural diversity is also evident in the artistic manifestations presented in the first edition of the GeoPalcos - Art, Science and Nature programme.

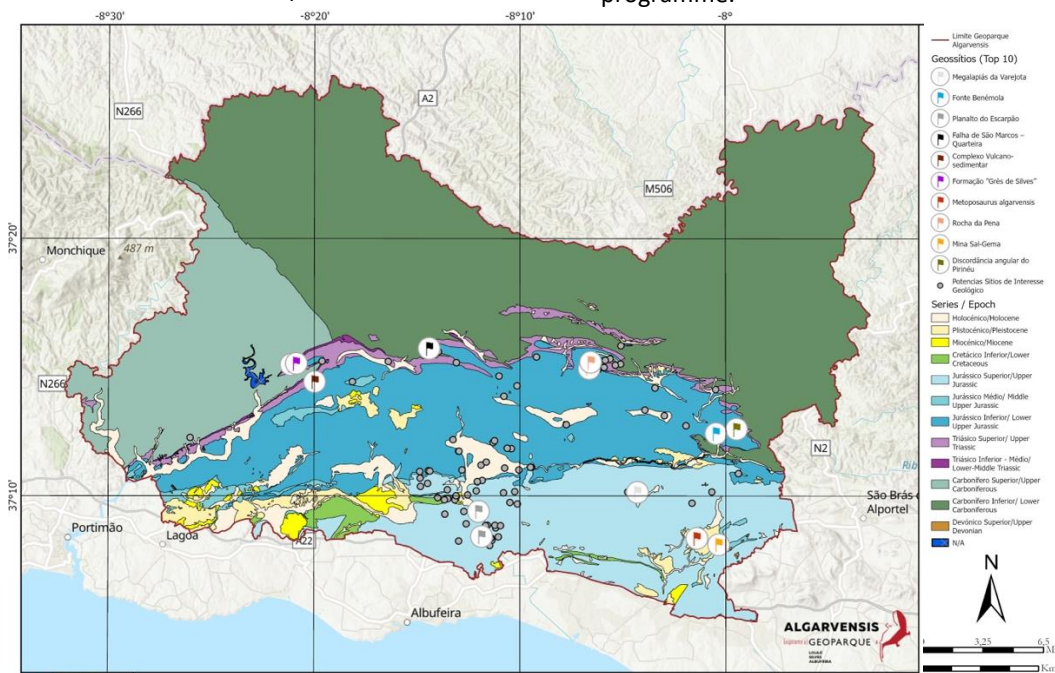


Fig. 1. Geologic map of the aUGGp Algarvensis including the 10 top geosites

Acknowledgements: We would like to acknowledge the funding granted by FCT to projects LA/P/0069/2020 granted to the ARNET Associated Laboratory and UID/00350/2020 granted to CIMA of the University of Algarve. Thanks are addressed to the aUGGp Algarvensis technical team and Scientific Committee members.

References

- Rodrigues, B., Chew, D.M., Jorge, R.C.G.S., Fernandes, P., Veiga-Pires, C., Oliveira, J.T., (2015). Detrital zircon geochronology of the Carboniferous Baixo Alentejo Flysch Group (South Portugal); Constraints on the provenance and geodynamic evolution of the South Portuguese Zone. *J. Geol. Soc. London.* 172. doi:10.1144/jgs2013-084
- Terrinha, P., Rocha, R., Rey, J., Cachão, M., Moura, D., Roque, C., Martins, L., Valadares, V., Cabral, J., Azevedo, M.R., Barbero, L., Clavijo, E., Dias, R.P., Gafeira, J., Matias, H., Matias, L., Madeira, J., Silva, C.M. da, Munhá, J., Rebelo, L., Ribeiro, C., Vicente, J., Youbi, N., (2006). A Bacia do Algarve: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* 247–316.

SESSÃO CIENTÍFICA 18 (SC_18)
(História e Didáctica da Geologia)

Conveners: Filomena Amador; Isilda Rodrigues; Joana Torres

Educação, Ciência e Património Natural de Torres Novas Education, Science and Natural Heritage of Torres Novas

A. Batista (1), P. Silva (2), S. Cadima (2) e J. Cabral (3)

(1) Serviços de Educação, Município de Torres Novas, Portugal; adriana.silva@cm-torresnovas.pt

(2) Serviços de Educação, Município de Torres Novas, Portugal

(3) Município de Torres Novas, Portugal

Summary: *In order to encourage the science learning, scientific literacy and the discovery of the natural heritage among the school community, the Municipality of Torres Novas created some projects and initiatives, namely Science on Wheels, Discovering – Interpretative Activities in Natural Heritage of Torres Novas and Asas da Ciência – Science Fair. In these projects, experimental activities and field trips to the local natural heritage are carried out, being a unique opportunity for students. They can observe in loco the contents learned and acquired in the classroom - formal education -, a teaching/learning strategy that encourage students' interest and curiosity, leading to their active participation and allowing direct observation of the world around them.*

Key words: *scientific dissemination, scientific literacy, experimental activities, interpretive routes, natural heritage.*

Palavras-chave: divulgação científica, literacia científica, atividades experimentais, percursos interpretativos, património natural.

Introdução

O ensino das ciências nos primeiros anos de escolaridade é essencial no desenvolvimento das crianças (Charpak, 1997; Cachapuz, 2007; Martins *et al.*, 2007). As crianças são muito recetivas às ciências e o seu ensino desenvolve a personalidade, a inteligência, o espírito crítico e a sua relação com o mundo (Sá, 2000). Face aos atuais desígnios sociais, e ao facto da ciência e a tecnologia estarem cada vez mais presentes no dia a dia dos cidadãos, o ensino experimental das ciências e as saídas de campo revestem-se, nos dias de hoje, de particular importância, permitindo aos alunos explorar o mundo que os rodeia e conhecer as interações entre os diversos sistemas naturais, fomentando a sua curiosidade natural (Pereira *et al.*, 2009).

De forma a incentivar e promover o ensino das ciências, a literacia científica e a descoberta do património natural junto da comunidade escolar do concelho, o município de Torres Novas tem dinamizado alguns projetos e iniciativas (Ciência sobre Rodas, Asas da Ciência – Feira da Ciência e À Descoberta – Atividades interpretativas no Património Natural de Torres Novas) que se descrevem sucintamente nas secções seguintes.

Ciência sobre Rodas

Projeto de promoção do ensino experimental das ciências no ensino pré-escolar e 1º ciclo, que se iniciou no ano letivo 2018/2019 e complementa as aprendizagens e os conteúdos adquiridos em contexto de sala de aula – ensino formal. Quinzenalmente realiza-

se uma atividade experimental por um dos dois técnicos superiores na área das ciências naturais (um geólogo e um biólogo) contratados para a dinamização das atividades experimentais em todos os estabelecimentos de educação e ensino da rede pública do concelho. A deslocação é feita numa viatura elétrica, devidamente apetrechada com conjuntos científicos temáticos, com ligação a outras áreas curriculares e do quotidiano.



Fig. 1 - Logótipo do projeto “Ciência sobre Rodas” do Município de Torres Novas

Os alunos do ensino Pré-escolar e 1º Ciclo do concelho de Torres Novas são o público-alvo do projeto, abrangendo um total de 1575 alunos no atual ano letivo (2022/2023), tendo abrangido em 2021/2022 e 2020/2021, 1476 e 1468 alunos, respetivamente.

Nas Asas da Ciência - Feira da Ciência

Atividade anual com o objetivo de promover a literacia científica e tecnológica junto de crianças e jovens do

concelho, bem como com a restante comunidade torrejana. Esta feira apresenta-se, igualmente, como espaço de divulgação e apresentação de projetos no âmbito do ensino experimental das ciências, promovendo o envolvimento da comunidade. Conta com 3 edições, duas presenciais (2020 e 2022) e uma online (2021), sendo que a 4ª edição decorrerá nos dias 2, 3 e 4 de março de 2023.

À Descoberta: Atividades interpretativas do património natural de Torres Novas

Iniciativa dirigida à comunidade escolar, com o objetivo de dar a conhecer o património natural do concelho, através da realização de percursos/saídas de campo interpretativos sobre a Geodiversidade e Biodiversidade local. Durante estas saídas de campo são mostrados afloramentos rochosos, as formas de relevo, a fauna e a flora envolventes. Uma oportunidade única para os alunos entrarem em contacto com o património natural do concelho e observarem *in loco* os conteúdos aprendidos e adquiridos na sala de aula. Para além disso, o conhecimento do património natural do concelho permite ainda uma identificação da comunidade com o meio envolvente, potenciando assim a preservação deste património natural.

O público-alvo destas saídas de campo são os alunos do ensino pré-escolar, 1º, 2º, 3º Ciclo e do Secundário do concelho de Torres Novas. No ano letivo 2021/2022 (ano em que se iniciou o projeto) contou com a participação de 50 turmas, 1092 alunos com faixas etárias compreendidas entre 6 e 18 anos, num total de 37 atividades realizadas.

Agradecimentos: Os projetos supramencionados são apoiados pelo Plano Estratégico de Desenvolvimento Intermunicipal da Educação no Médio Tejo – PEDIME.

Referências

- Cachapuz, A. (2007). Educação em ciência que fazer?. Atas do Seminário Ciência e Educação em Ciência: Situação e Perspectivas. Conselho Nacional de Educação. Ministério de Educação, Lisboa, 239-249.
- Chapak, G. (1997). As ciências na Escola Primária. Editorial Inquérito, Mem Martins.
- Martins, I., Teixeira, F., Tenreiro-Vieira, C., Vieira, R., Rodrigues, A. V. & Couceiro, F. (2007). Educação em ciências e ensino experimental no 1º Ciclo EB. 2ª Edição, Ministério da Educação, Lisboa.
- Pereira, S., Martins, I., Veiga, L., Teixeira, F., Vieira, C., Vieira, R. & Rodrigues, A. (2009). Despertar para a ciência - actividades dos 3 aos 6. Enseñanza de las Ciencias, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelonapp, 1076-1080.
- Sá, J. (2000). A abordagem experimental das ciências no jardim-de-infância e 1º ciclo do ensino básico. Que implicações para o processo de educação científica nos níveis de escolaridade seguintes. In Livro de Resumos do congresso sobre Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências, Universidade do Minho, Braga.

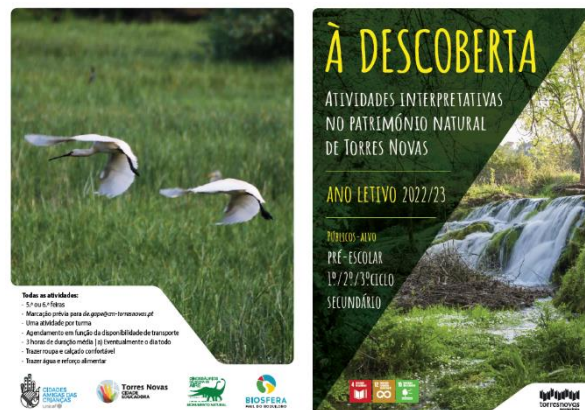


Fig. 2 - Folheto “À Descoberta: atividades interpretativas do património natural de Torres Novas”

Conclusão

O ensino experimental e as saídas de campo são uma oportunidade única para os alunos observarem as aprendizagens e conteúdos adquiridos em contexto formal. Estas ações são uma estratégia de ensino/aprendizagem que desperta o interesse dos alunos, leva à sua participação ativa, desenvolvendo a sua criatividade, a personalidade e civismo, ao mesmo tempo que fomenta a preservação e respeito pela natureza. Permitem ainda a observação direta e em ambiente natural ou laboratorial de materiais e dos processos geológicos e biológicos ativos, bem como a descoberta das diferentes áreas da ciência, permitindo aos participantes explorar o mundo que os rodeia de uma forma dinâmica

Viagem à volta do mundo com a Geologia – análise de 611 questões de exames nacionais (2008-2021)

Journey around the world with Geology – analysis of 611 questions from national exams (2008-2021)

C. Barata (1), C. Marques (2), B. Lopes (3), A. Gomes (2), F. C. Lopes (2), E. Gomes (2), D. Soares (3), P. Callapez (2) e I. Abrantes (4)

(10) Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Departamento de Ciências da Terra, carlos18barata@gmail.com

(11) Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Departamento de Ciências da Terra

(12) Universidade de Aveiro, Centro de Investigação Didática e Tecnologia Educativa na Formação de Formadores, Departamento de Educação e Psicologia

(13) Universidade de Coimbra, Centre for Functional Ecology - Science for People & the Planet, Departamento de Ciências da Vida

Summary: *This study seeks to understand the importance given to the placement of real-life situations in Geology questions of national Portuguese Biology and Geology exams and to contextualize it with the curriculum. These exams, corresponded to the conclusion of the biennial course of Biology and Geology (years 10 and 11) of the Scientific and Humanistic Courses, and a compulsory or optional requirement for access to higher education. To that end, we analysed the Geology questions groups of 39 exams held between 2008 and 2021, which showed that most groups of geology questions are framed in georeferenced scientific scenarios (93.6%), being the Azores region frequently cited. The present study conveys the importance of real-life situations, particularly the Azorean region, for the contents of Geology, taught in years 10 and 11, considering the geological attributes of this region and its frequent presence in Portuguese national exams.*

Key words: Azores, Curricular Programmes; Evaluation; Geology; National Exams

Palavras-chave: Açores; Avaliação; Exames Nacionais; Geologia; Programas Curriculares

Os Exames Nacionais (EN), como instrumentos de avaliação normalizados e organizados a nível central, numa escala nacional (Eurydice, 2011), têm uma longa e atribulada história em Portugal. Introduzidos em 1947, no seguimento da Reforma Liceal, foram suspensos durante mais de duas décadas (1974-1995) e, depois, reintroduzidos para a conclusão do ensino secundário (1996) e para o acesso ao ensino superior (1998) (Eurydice, 2011; Marôco, 2021).

De modo generalizado, os EN são objeto de debate, ao nível académico e na opinião pública. Os focos de discussão incidem na importância conferida aos EN face às melhores práticas de ensino e aprendizagem (Alves, 2014), com destaque para os potenciais condicionalismos e pressão que criam a professores e estudantes (Alves, 2014; Leal, 2019). Ainda assim, é-lhes reconhecida a capacidade de confrontar o sistema educativo, político e social, com as suas insuficiências e com as falhas e carências do sistema educativo (Fiolhais, 2012).

O EN de Biologia e Geologia (BG) é atualmente obrigatório no final do 11.º ano para os alunos que se

encontrem inscritos na disciplina, sendo um requisito para o acesso a diversas licenciaturas do ensino superior. Deste modo, fica patente o peso que os EN possuem no futuro académico e profissional dos estudantes e, conseqüentemente, nas estratégias de ensino e aprendizagem (Lopes & Precioso, 2021).

Este estudo procura perceber a importância dada à georreferenciação dos elementos de suporte nas questões de Geologia, com o intuito de contribuir com informações relevantes para o planeamento de estratégias de ensino e aprendizagem, fortalecendo o estado da arte do ensino.

Para tal, foram analisados os grupos de questões de Geologia de 39 EN (2008-2011), com foco na referência geográfica dos itens de suporte; no tipo de itens de suporte (textos, figuras, tabelas); no número de questões associadas (direta ou indiretamente) à referência geográfica; no tipo de questões; e nos conteúdos curriculares das questões.

Verificou-se que a maioria destes EN eram compostos por grupos com 7 a 9 questões (78,2% dos EN), num total de 611 questões de Geologia, distribuídas por 78

grupos. Cada uma das questões incidia em um ou mais Domínios/Temas dos conteúdos curriculares lecionados na componente de Geologia. Em todos os EN analisados, cada grupo de questões é introduzido por um texto de suporte, associado a figuras (80,8% dos grupos), gráficos (10,3%) e/ou tabelas de dados (6,4%). Estes itens de suporte são, quase sempre, referentes a situações reais, geograficamente referenciados nos textos e/ou nas figuras (93,6%).

Dos 21 países referenciados (Fig. 1), 6 são europeus (Portugal, Espanha, França, Grécia, Islândia, Itália), 6 asiáticos (China, Indonésia, Irão, Japão, Nepal, Paquistão), 3 são da América do Norte (E.U.A., Haiti, México), 3 da América do Sul (Brasil, Colômbia, Equador), 2 da Oceânia (Austrália, Nova Zelândia) e 1 de África (Cabo Verde).

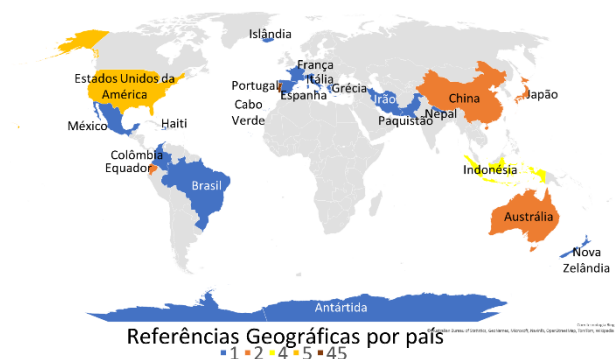


Fig. 1. Distribuição das referências geográficas por país nos grupos de questões de Geologia dos Exames Nacionais de Biologia e Geologia (2008-2021).

Regista-se, ainda, uma referência à Antártida, pelo que todos os continentes foram referenciados. Portugal é o país mais referenciado (45), sendo os Açores (7) a região que mais contribui para esse resultado, seguida pelo distrito de Setúbal (5), os distritos de Aveiro, Guarda, Lisboa e Porto (4) e o arquipélago da Madeira (3).

O número total de questões associadas à região dos Açores é superior às restantes, tanto a nível nacional como internacional. Estes resultados assentam no contexto geotectónico ímpar, com implicações vulcânicas e sísmicas, que caracterizam esta região. Os Açores constituem, portanto, um caso de estudo ideal para enquadrar instrumentos de avaliação e recursos de ensino e aprendizagem. De facto, verifica-se que os conteúdos curriculares mais frequentes nos EN analisados são o “Vulcanismo” (21,2% das questões), a “Tectónica” (12,4%) e a “Sismologia” (9,8%).

A integração de casos reais nas questões dos EN, promove a utilização de acontecimentos, atuais ou históricos, como base para a análise de conceitos científicos e o desenvolvimento do pensamento crítico e analítico. Este procedimento está em consonância com o currículo em vigor, podendo-se concluir que a utilização de casos reais, em particular os Açores, nos EN e nas estratégias de ensino e aprendizagem, são fundamentais, quer ao nível das Aprendizagens Essenciais e das Competências do Perfil dos Alunos, quer na perspetiva do sucesso dos estudantes nos EN de BG.

Agradecimentos: Os autores agradecem à FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) pelo apoio financeiro no âmbito das Bolsas de Investigação UI/BD/151508/2021, de Carlos Barata, e SFRH/BD/148734/2019, de Carla Marques, e dos projetos estratégicos UID/Multi/00611/2020 atribuído ao CITEUC - Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra e UIDB/04004/2020 atribuído ao CFE – “Centre for Functional Ecology”, Departamento de Ciências da Vida, Universidade de Coimbra e do FEDER – Fundo de Desenvolvimento Regional Europeu através do COMPETE 2020 – Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização (projeto: POCI-01-0145-FEDER-006922).

Referências

- Alves, J. (2014). Exames: Mitos e realidades. In Alves, J., & Machado, J. (Orgs.), *Melhorar a Escola–Sucesso Escolar, Disciplina, Motivação, Direção de Escolas e Políticas Educativas*. Universidade Católica Editora, Porto, 155-177.
- Eurydice (2011). National testing of pupils in Europe: objectives, organisation and use of results. European Commission. 93 pp.
- Fiolhais, C. (2012). Prefácio. In Karpicke, J., de Sousa, H. D., & Almeida, L. S. *A avaliação dos alunos*. Lisboa: Fundação Francisco Manuel dos Santos, 7-13.
- Leal, J. P. (2019). Exames nacionais: a influência de pequenos factores. *Revista da Associação Portuguesa de Linguística*, 6, 18-28.
- Lopes, T., & Precioso, J. (2021). Insucesso de alunos e alunas no exame de Biologia e Geologia: estudo com professores. *Estudos em Avaliação Educacional*, 32, e06848.
- Marôco, J. (2021). Portugal: The PISA Effects on Education. In: Crato, N. (ed.), *Improving a Country's Education*. Springer, 159-174.

Janela para os Museus de Ciência Portugueses Window to the Portuguese Science Museums

C. Barata (1*), C. Marques (1), B. Lopes (2), A. Gomes (1), F. Lopes (1), E. Gomes (1), D. Soares (2), P. Callapez (1) e I. Abrantes (3)

(14) Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Departamento de Ciências da Terra. *carlos18barata@gmail.com

(15) Universidade de Aveiro, Centro de Investigação Didática e Tecnologia Educativa na Formação de Formadores, Departamento de Educação e Psicologia

(16) Universidade de Coimbra, Centre for Functional Ecology - Science for People & the Planet, Departamento de Ciências da Vida

Summary: *Following the trend to implement Information and Communication Technologies in education, and taking advantage of mobile technology advances, this study presents the early stages of the construction of the app, “Janela para os Museus de Ciência Portugueses”, aiming to be a resource for teachers, designed for long and medium-term planning, particularly in the definition of activities developed outside the school. Presently, the study focus on the integration of a database, with exhibitions and activities of Portuguese science museums/centres, in particular Geology, into an app. This will allow science teachers, in particular Biology and Geology teachers in secondary education, to select exhibitions and/or activities to be implemented in Portuguese museums, science centres and interpretive centres. The current functions and details as well as future stages this study are presented, in order to build a valuable resource for teaching, encouraging the implementation of learning activities in science museums.*

Key words: *Apps, Geology, Science Museums, mobile technologies*

Palavras-chave: *Apps, Geologia, Museus de Ciência, tecnologias móveis*

O incentivo para a implementação de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) nos currículos, práticas letivas e na própria formação dos professores tem sido uma realidade cada vez mais generalizada (Hu *et al.*, 2021). Paralelamente, as primeiras décadas do século XXI trouxeram consigo uma clara tendência para o desenvolvimento de tecnologias portáteis e móveis, mantendo, ou mesmo aumentando, a capacidade computacional e de *wi-fi*. Presentemente, podemos mesmo considerar que a tecnologia móvel é quase ubíqua a todos os níveis da vida quotidiana (Baran *et al.*, 2017).

A normalização do uso da tecnologia móvel tem revelado potencial para a criação de novos recursos e a implementação de novas atividades de ensino e aprendizagem, dentro e fora da sala de aula (Martin & Ertzberger, 2013). Além de poderem ser utilizados nestas atividades, verifica-se, também, a sua implementação na concretização de tarefas que os professores têm de desempenhar na sua atividade profissional diária, como, por exemplo, a interação com registos de presença e de avaliação, ou o acesso a bases de dados de materiais de avaliação, ou outros recursos que possam ser implementados dentro ou fora do contexto escolar (Cherner *et al.*, 2016).

Neste estudo é apresentado um protótipo de uma *app* (Fig. 1) intitulada “Janela para os Museus de Ciência Portugueses”. Este recurso digital pretende contribuir para a implementação de atividades de ensino e aprendizagem no contexto dos museus e centros de ciência. Apresenta aos professores uma base de dados de exposições e de atividades que existem nos museus/centros de ciência, em particular nos de Geologia. Com uma estrutura similar às *apps* de uso quotidiano, de fácil acesso e interação intuitiva, irá possibilitar uma pesquisa por temas, localização, faixa etária, tipo de atividade, etc. Assim, procura ser um recurso para os professores, auxiliando na definição de atividades a desenvolver fora do contexto escolar, contribuindo para o planeamento a longo e a médio prazo. Na presente fase, procura-se integrar essa base de dados, construída em Excel, através do *software* adequado (*Appsheet*), de modo a se construir uma *app* que possibilite aos professores de ciências, em particular os de Biologia e Geologia do 3º ciclo do ensino básico e do ensino secundário, selecionar exposições e/ou atividades que possam ser implementadas nos museus, centros de ciência e centros interpretativos portugueses. Cada exposição/atividade é apresentada através de um

cartão digital, com o respetivo nome, instituição onde é implementada, temática e uma breve descrição.



Fig. 1. Protótipo da app “Janela para os Museus de Ciência Portugueses”, em fase de construção; exemplo das páginas iniciais.

A app possibilitará selecionar exposições/atividades, com base em critérios, como a localização dos museus (Fig. 2), ou a temática da exposição/atividade (Fig. 3).

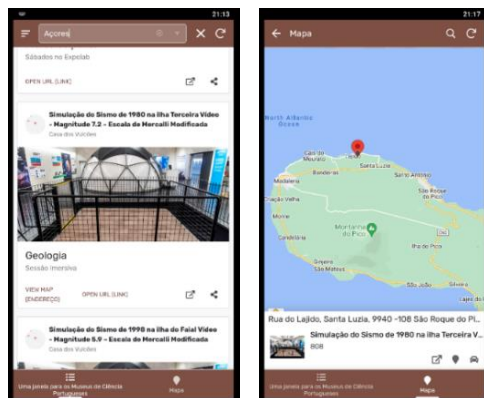


Fig. 2. Protótipo da app “Janela para os Museus de Ciência Portugueses”; exemplo das páginas de pesquisa e mapa.

Permitirá, ainda, visualizar a localização do museu/centro num mapa e aceder à respetiva página

oficial, no *website* do museu/centro. Inclui exposições e atividades de museus/centros de todo o país, incluindo os Açores e a Madeira. Como exemplo, nas figuras 2 e 3, incluem-se a atividade “Simulação do Sismo de 1980” da Casa dos Vulcões (Ilha do Pico, Açores) e a exposição das “27 Maravilhas do Museu Geológico” (LNEG, Lisboa), que inclui folhas fósseis de cinzas vulcânicas da Ilha de São Miguel (Açores).

Futuramente, pretende-se consolidar a integração da base de dados, corrigindo lacunas/erros da mesma, e integrando novas funcionalidades na app.

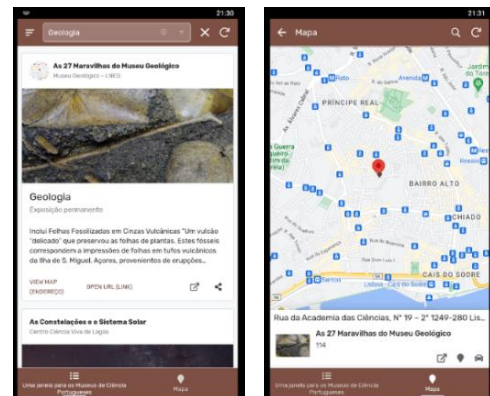


Fig. 3. Protótipo da app “Janela para os Museus de Ciência Portugueses”; exemplo das páginas de pesquisa e mapa.

Após a conclusão da app, serão efetuados testes, com um grupo específico de professores, a fim de analisar a app relativamente à sua funcionalidade, utilidade e contributo para a promoção do ensino e aprendizagem no contexto dos museus e centros de ciência. Deste modo, serão identificados e corrigidos erros, e integradas possíveis sugestões, com o intuito de tornar esta app num recurso valioso para o ensino, em geral, e para a implementação de atividades de ensino e aprendizagem associadas ao contexto/recursos museológicos.

Agradecimentos: Os autores agradecem à FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) pelo apoio financeiro no âmbito das Bolsas de Investigação UI/BD/151508/2021, de Carlos Barata, e SFRH/BD/148734/2019, de Carla Marques, e dos projetos estratégicos UID/Multi/00611/2020 atribuído ao CITEUC - Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra e UIDB/04004/2020 atribuído ao CFE – “Centre for Functional Ecology”, Departamento de Ciências da Vida, Universidade de Coimbra e do FEDER – Fundo de Desenvolvimento Regional Europeu através do COMPETE 2020 – Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização (projeto: POCI-01-0145-FEDER-006922).

Referências

Baran, E., Uygun, E., & Altan, T. (2017). Examining preservice teachers’ criteria for evaluating educational mobile apps. *Journal of Educational Computing Research*, 54(8), 1117-1141.

Cherner, T., Lee, C. Y., Fegely, A., & Santaniello, L. (2016). A detailed rubric for assessing the quality of teacher resource apps. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 15, 117-143.

Hu, D., Yuan, B., Luo, J., & Wang, M. (2021). A review of empirical research on ICT applications in teacher professional development and teaching practice. *Knowledge Management & E-Learning*, 13(1), 1–20.

Martin, F., & Ertzberger, J. (2013). Here and now mobile learning: An experimental study on the use of mobile technology. *Computers & Education*, 68, 76-85

Educação formal e não formal em Geociências: perspetivas de uma abordagem holística no desenvolvimento de uma cidadania ambiental

Formal and non-formal education in Geosciences: perspectives of a holistic approach in the development of an environmental citizenship

N. Cid (1) e J.C. Kullberg (2)

(1) Escola Secundária da Ramada, Largo da Escola Secundária, 2620-439 Ramada, n.cid@campus.fct.unl.pt

(2) Departamento Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, e GeoBioTec - polo FCT, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica, jck@fct.unl.pt

Summary: *Overuse of the planet's natural wealth has the potential to increase our ability to support the economy, safeguard national security, and maintain the natural environment. Geoscientists can provide constructive criticism of contemporary sustainability issues. However, the fact remains that most geologists are not directly involved in the growing social shift toward sustainable development. This trend can be countered through a holistic approach to the Geosciences in Geology and Earth System Education curricula, in formal and non-formal educational settings.*

Key words: Geosciences, Education, Sustainability, Environmental citizenship, Science communication

Palavras-chave: Geociências, Educação, Sustentabilidade, Cidadania ambiental, Comunicação científica

Em 1788, a obra seminal de James Hutton, Teoria da Terra, abriu com a observação de que “*este globo da terra é um mundo habitável, e na sua aptidão para este propósito, o nosso sentido de sabedoria dentro da sua formação deve depender*”. Quase 250 anos depois, os geólogos ainda têm dificuldade em colocar essa visão em prática. A falta de visão acerca das interações, que ocorrem no planeta, conduziu a uma falta de planeamento e gestão dos seus recursos. É do domínio público que, para enfrentar os grandes desafios da atualidade, são necessárias ações para cumprir a Agenda 2030 das Nações Unidas, para o Desenvolvimento Sustentável. A Agenda 2030 surge num contexto em que a Humanidade está a utilizar mais recursos naturais do que nunca, na História da Terra, e a sua sobre-exploração já começou a afetar, irreversivelmente, o nosso ecossistema. Assiste-se a uma sobre-exploração de matérias-primas minerais (por exemplo, para a produção das chamadas “energias limpas”); a destruição das florestas equatoriais para a produção do biofuel; a deposição de resíduos tóxicos; a contaminação das águas e a poluição do ar; a erosão costeira; o esgotamento dos solos e, conseqüente, perda de biodiversidade e a escassez de água potável. Estes são alguns dos problemas que podem ameaçar o futuro da Humanidade e da Vida, tal como a conhecemos, no nosso planeta. Assim, é inevitável que um dos desafios existenciais para os cidadãos do século XXI é a coexistência pacífica com o meio ambiente. A capacidade para o fazer implica ter literacia ambiental e a compreensão de que somos seres, inevitavelmente, participativos nos sistemas da Terra. Assim, educar a Sociedade sobre o Sistema Terra é crucial para o

quotidiano e futuro da Humanidade, dada a relação entre a espécie humana e o planeta. Esta lacuna na educação das Geociências, na Sociedade, é visível nas comunicações científicas públicas, na área das Geociências, de uma potencial ameaça, a qual é seguida de uma banalização nos discursos quotidianos. As preocupações científicas são relegadas para segundo plano, desvalorizadas face a preocupações sociais, económicas e políticas mais prementes no presente. Acresce, também, o facto de a Geologia continuar a ser uma área que desperta pouco interesse porque, aparentemente, “desinteressante” e, no entanto, o conhecimento em Geociências é vital para se entenderem as ameaças globais do século XXI e, será através dele, que se obterão as respostas para desenvolver a capacidade para manter o atual modo de vida (Stuart, 2016; González-Barros et al., 2018; Ribeiro & Orion, 2021).

Aprendizagens Essenciais (AE's) de Geologia e as disparidades com o Perfil do Aluno à Saída da Escolaridade Obrigatória (PASEO)

A nossa Sociedade apresenta uma falta de familiaridade com as Geociências compreensível, uma vez que a maioria dos países não tem uma exposição direta à Geologia, dentro do currículo escolar. Até recentemente, existia pouco incentivo entre académicos e profissionais da indústria para divulgar e transmitir a Ciência a audiências não técnicas. Atualmente, através da tendência crescente de aproximar a ciência aos cidadãos, ganha-se um novo ímpeto para transmitir a relevância geológica para o desenvolvimento sustentável. Neste contexto, as Geociências e a sua

comunicação deveriam ser integradas no currículo dos cursos de Geologia e no desenvolvimento profissional. Ensinar estudantes de Geologia a trabalhar com outros cientistas, empresários e políticos na criação de soluções viáveis aos desafios ambientais e, dos recursos naturais, é suscetível de aumentar, significativamente, a sua empregabilidade. Além disso, o forte envolvimento académico nas questões ambientais locais trará as partes interessadas da comunidade, incluindo empregadores, para a sala de aula. Em Portugal, o estudo das Geociências e a formação de Geólogos, a nível superior, está dependente da frequência da disciplina de Biologia e Geologia. Analisando as AE's, na vertente da Geologia, facilmente se percebe que os temas relacionados com a Sustentabilidade do planeta e da Sociedade são apenas contemplados no domínio: *Exploração sustentada de recursos geológicos*. Estes temas foram fortemente cortados com a retirada do Tema IV "Ocupação Antrópica e Problemas de Ordenamento", do currículo. Num cômputo geral, de entre as matérias que qualquer cidadão informado pode associar com a intervenção do Geólogo na Sociedade desapareceram, ou quase (Tabela I). É urgente que esta grave distorção seja corrigida com urgência.

Tabela I – Comparação entre o número de ocorrência de "conceitos-chave", no Programa oficial de 2001 e nas AE's 2017 e 2018.

Termo-chave/Conceito	Programa Oficial 2001 (10º + 11º)	AE's 2017-2018 (10º + 11º)
Risco(s) geológico(s)	9 + 5	1 + 0
Ordenamento do território	2 + 6	0 + 0
Património geológico	1 + 1	0 + 0
Energia / fontes de energia	3 + 2	0 + 2
Poluição / reciclagem	3 + 0	0 + 0
Clima / climático	6 + 1	0 + 0
Impacto (ambiental, económico)	11 + 1	0 + 0
Biosfera	3 + 0	1 + 0
Recurso (natural, geológico)	3 + 10	0 + 3
Água	3 + 3	0 + 0
Solo	3 + 3	0 + 0
TOTAIS	47+32 = 79	2 + 5 = 7

Acresce, ainda, que analisando as AE's de Geologia deparamo-nos com um conjunto de temas desvinculados da Sociedade e de situações reais e, sem qualquer alusão, à importância das interações que se estabelecem no sistema Terra, e às implicações das ações humanas neste frágil sistema. Esta lacuna nas AE's poderá, por um lado, limitar a formação de adultos informados e conscientes e com o conhecimento factual do tema e, por outro lado, pode condicionar a formação de futuros profissionais para a área, cujo conhecimento

técnico e científico é necessário para solucionar e minorar alguns dos problemas de Sustentabilidade que afetarão o planeta. Tudo isto em evidente contradição com o PASEO, o qual prevê que um dos desafios que se coloca à Educação é a Sustentabilidade (Stuart, 2016; González-Barros et al., 2018; Ribeiro & Orion, 2021).

Educação Formal e Não Formal em Geociências: resposta integrada a uma cidadania ativa e ambiental

Deve existir um investimento na educação em Geociências para alterar a forma como os cidadãos percebem o planeta e a sua dinâmica em direção à sua Sustentabilidade. Estas competências podem ser desenvolvidas através da interação entre as Ciências do Sistema Terrestre e da Educação do Sistema Terrestre (EST) que podem conduzir a uma compreensão holística do planeta e cidadania ativa. Para este propósito é urgente (re)pensar como ensinar e aprender as ciências (da Terra) e sair de paradigmas multidisciplinares para abraçar a inter ou transdisciplinaridade. Tendo em conta as perspetivas de Ribeiro & Orion (2021) sobre a EST será dinamizado, na Escola Secundária da Ramada, um projeto de investigação que visa perceber qual é a perceção dos alunos no ensino secundário, face à importância das Geociências e da profissão de Geólogo e, qual o contributo da Educação, na área das Geociências, para a concretização dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (Stuart, 2016). Este projeto integra, no ensino formal, a conceção de um Projeto Transdisciplinar de Turma, que visa esbater as disparidades, ao nível da Sustentabilidade entre as AE's e o PASEO, que poderá ser replicado noutros contextos escolares. Ao nível do ensino não formal, será concebido o projeto de um clube – *Expressão da Terra* – que integra várias Expressões de Arte, em assuntos relacionados com as Geociências, com o intuito de disseminação da comunicação científica dirigida à população, em geral. O ensino das Geociências, na sua vertente de Sustentabilidade, não pode estar confinado a decisões políticas sobre as temáticas abordadas nas AE's. As escolas devem organizar-se de forma a contemplar a Sustentabilidade no seu projeto Educativo, contribuindo para alcançar os objetivos da Agenda 2030 e para a formação integral dos nossos jovens.

Referências

- González-Barros, M., González, J. L., López, et al. (2018). La Profesión de Geólogo (Ilustre Colegio Oficial de Geólogos). Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, 1-17.
- Ribeiro, T., & Orion, N. (2021). Educating for a Holistic View of the Earth System: A Review. *Geosciences*, 11(12), Art. 12.
- Stewart, I. (2016). Sustainable geoscience. *Nature Geoscience*, 9(4), Art. 4.

Os Observatórios de Astronomia e Geofísica da Universidade de Coimbra: Uma história ilustrada por alunos dos ensinos básico e secundário

The University of Coimbra's Astronomy Geophysics and Observatories: an illustrated history for middle and secondary students

G. P. Correia (1) e F. B. Figueiredo (2)

- (1) Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (CITEUC), gina_maria@sapo.pt
- (2) Departamento de Matemática da Universidade de Coimbra; Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (CITEUC)

Summary: *'The Geophysical Institute of University of Coimbra: History and Heritage of the Earth and Environment Sciences in Portugal' (HISTIGUC) project had engaged middle and secondary school teachers and students in activities related with history of science between the years 2018 and 2022. The aim of this communication is to describe one of these activities that involved a teacher and her students in drawing several historical episodes of the scientific life of the Earth and Space Observatories of the University of Coimbra, in order to illustrate a book about the history of these two scientific establishments. The students' work was developed during the 2021/2022 school year and the book is now being edited for subsequent publication.*

Key words: HISTIGUC Project, Historical-Scientific heritage, History of Science, Teaching Geoscience

Palavras-chave: Ensino das geociências, História da Ciência, património histórico-científico Projeto HISTIGUC

Os mais de 200 anos da história científico-institucional dos observatórios de astronomia e geofísica da Universidade de Coimbra constituem uma herança que evidencia o relevo dado à evolução da ciência e do conhecimento em Portugal nos dois últimos séculos. O projeto HISTIGUC – 'The Geophysical Institute of University of Coimbra: History and Heritage of the Earth and Environment Sciences in Portugal' (PTDC\FER-HFC\30666\2017; <https://sites.google.com/view/histiguc-project/the-project>), desenvolvido ao longo de quatro anos (2018-2022) por uma equipa multidisciplinar de investigadores, alguns dos quais membros do Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (CITEUC), teve como objetivo estudar e divulgar este património na vertente científico, histórica e patrimonial.

É consensual a importância da história da ciência (HC) no ensino para o desenvolvimento de cidadãos providos de uma literacia científica, mas também promotores de uma cidadania ativa e cooperantes de uma ciência cidadã criteriosa no que respeita, particularmente, a decisões político-sociais que envolvam aspetos científicos e tecnológicos. Por outro

lado, é, ainda, reconhecido o contributo da HC para a motivação dos estudantes e para a promoção de melhorias nos processos de ensino e aprendizagem no ensino das ciências.

Pelos pressupostos enunciados, uma das linhas de ação do Projeto HISTIGUC teve como público alvo o ensino não superior (Correia et al., 2017), especificamente os professores, com a criação e dinamização da ação de formação 'A história do Observatório Geofísico e Astronómico como ferramenta de Ensino das ciências físico-naturais e domínio de autonomia curricular' (Figueiredo et al., 2022); bem como os estudantes dos ensinos básico e secundário através do estabelecimento de parcerias e de apoio no desenvolvimento de atividades disciplinares e interdisciplinares, de exposições temáticas e da dinamização de palestras em escolas da região norte e centro do país.

Neste trabalho dá-se a conhecer a atividade 'Os observatórios de astronomia e geofísica da Universidade de Coimbra, 200 anos de história', levada a cabo durante o ano escolar de 2021/2022 em parceria com dois estabelecimentos de ensino: Escola Secundária de Latino Coelho, Lamego, e Colégio de

Lamego, ambas no distrito de Viseu, que envolveu dois professores e um conjunto de estudantes de diferentes níveis de ensino participantes numa semana artística organizada pelos professores parceiros.

Assim, para a concretização desta atividade, numa primeira etapa, os investigadores do projeto HISTIGUC selecionaram e redigiram um conjunto de 19 pequenos textos que retratavam episódios históricos centrais e marcantes da atividade científica do Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra, (OGAUC) herdeiro dos antigos observatórios Astronómico e Meteorológico e Magnético/Instituto Geofísico. Pequenos textos que começaram com a Reforma Pombalina levada a cabo pelo Marquês de Pombal em 1772 e acabaram na fusão dos primitivos observatórios dando origem ao OGAUC (2013). Numa segunda etapa foi lançado o repto a dois professores de Artes Visuais para que, conjuntamente com os seus estudantes, ilustrasse esses pequenos relatos históricos. Seguidamente foi dada a conhecer a iniciativa aos estudantes, com uma apresentação breve do projeto HISTIGUC, e a disponibilização de pequenas fichas informativas (textos e um conjunto de imagens alusivas a cada um deles), com o objetivo de facilitar o seu entendimento

e incentivar a criatividade dos alunos (Fig. 1). Os trabalhos desenvolvidos pelos estudantes estão em fase de formatação e edição para a publicação de um e-book e posterior impressão.

Apresentar a ciência através da arte pode considera-se uma estratégia motivadora para os estudantes nas áreas disciplinares das STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics). Combinando elementos visuais com conceitos científicos, os professores envolvem os estudantes de forma criativa e poderão potenciar o seu pensamento crítico sobre o mundo real. Deste modo, a criação das ilustrações sobre temas científicos poderá considerar-se catalisadora da auto motivação dos estudantes para a exploração de temas científicos, da qual resultará um incremento da compreensão acerca do fascinante mundo da ciência. Este projeto de ilustrações da vida institucional e científica do OGAUC é disso um bom exemplo. O entusiasmo e o empenho inicial dos envolvidos ultrapassou a barreira do calendário escolar e prolongou-se no tempo para o presente ano letivo (2022/23), durante o qual se encontra em fase de conclusão a criação de uma sequência de ilustrações de algumas das personalidades marcantes deste período histórico do OGAUC.



Fig. 1. Exemplo de uma das fichas informativas disponibilizada aos estudantes referentes aos textos que teriam de ilustrar (e.g. episódio #7).

Agradecimentos: Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projecto HISTIGUC (PTDC\FER-HFC\30666\2017). Os autores agradecem aos Professores Sara Fernandes e Maurício Teixeira, e aos estudantes que possibilitaram a concretização desta iniciativa.

Referências

- Correia, G. P. Figueiredo, F. B. & Gomes, A. (2017). How the 150 years of scientific activity of the Geophysical Institute of the University of Coimbra may help the geosciences in the teaching in the middle and high education. Atas da APMG 2017, 10.º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG, XVIII Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia, XX aniversário da APMG, Gulbenkian, Lisboa, 20 a 22 de março de 2017, ed. APMH - Associação Portuguesa de Meteorologia e Geofísica, 13-16.
- Figueiredo, F. B.; Leonardo, A. J.; Correia, G. P. (2022). A história do Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra como ferramenta de Ensino das ciências físico-naturais e domínio de autonomia curricular. Livro de resumos do VII Encontro Internacional Casa das Ciências, Porto, 20-21.

EGU Geosciences Education Field Officer: um programa internacional para a promoção do ensino das geociências

EGU Geosciences Education Field Officer: an international programme to promote geosciences teaching

G. P. Correia (1) e H. Pereira (2)

- (1) Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (CITEUC), EGU Education Committee, gina_maria@sapo.pt
- (2) Escola Secundária de Loulé; Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (CITEUC), EGU Education Committee

Summary: *The Geosciences Education Field Officer (GEFO) programme, launched and supported by the Education Committee of the European Geosciences Union, began in 2019 in six countries (France, India, Italy, Morocco, Portugal and Spain) and was expanded in 2022 for a total of 18 European and non-European countries. The main goal of this initiative is to promote the development of geoscience teaching, by the organization and carry on of interactive workshops to middle and secondary school teachers. This initiative can contribute to the achievement of the United Nations Sustainable Development Goals and the European Green Deal and, consequently, allow the sustainable development of planet Earth.*

Key words: *European Geosciences Union, middle and secondary education, networking, teaching geosciences*

Palavras-chave: Ensino básico e secundário, ensino das geociências, European Geosciences Union, rede de trabalho colaborativo

Atualmente, expressões como mudanças climáticas, energia verde, transição energética, economia circular, desenvolvimento sustentável, ordenamento do território ou minimização de riscos geológicos, fazem parte do léxico comum do nosso dia a dia. Tal parece resultar do facto de, recentemente, a sociedade ter começado a reconhecer a relação entre estes assuntos-chave com a manutenção da nossa qualidade de vida atual e até mesmo a sobrevivência de muitas espécies, incluindo a nossa. Porém, a sociedade tarda em reconhecer que estes desafios globais têm uma estreita relação com as geociências e esta área do conhecimento tem vindo a ser desvalorizada, desde logo, pelas políticas educativas em vigor em muitos países (King, 2019). Além disso, os cursos de geociências são cada vez menos escolhidos pelos estudantes que ingressam no ensino superior na generalidade dos países europeus.

Importa assim dirigir a atenção para esta realidade, através da promoção de iniciativas que congreguem o desenvolvimento de estratégias e de ferramentas que incrementem a literacia geocientífica não só dos jovens, mas da sociedade em geral.

Foi neste contexto, que surgiu o programa Geosciences Education Field Officer (GEFO) da European Geosciences Union (EGU). Um programa

inovador que congrega uma equipa internacional a trabalhar colaborativamente em prol da promoção do ensino das geociências, particularmente a vertente prática.

O programa GEFO é dirigido a professores dos ensinos básico e secundário que se encontram no ativo ou em formação inicial e enquadra-se na estratégia global da EGU de garantir um futuro sustentável e justo para a humanidade e para o planeta. O objetivo deste programa é dotar os professores de competências que os auxiliem no desenvolvimento de práticas facilitadoras na transmissão, aquisição e compreensão da geologia e dos fenómenos geológicos no ensino das geociências. A sua operacionalização assenta na figura de *um Field officer*, um profissional de educação a quem foi dada formação específica, e concretiza-se pela organização e dinamização de oficinas práticas e interativas (Correia, et al., 2021).

Considerando o sucesso dos primeiros anos de implementação nos seis países piloto (Espanha, França, Índia, Itália, Marrocos e Portugal) (e.g. Correia et al., 2020; Realdon et al., 2020) o programa GEFO foi expandido no ano de 2022 e, atualmente, está a ser executado em 18 países: onze europeus (Albânia, Alemanha, Estónia, França, Grécia, Itália, Espanha, Portugal, Reino Unido, Roménia e Turquia) e sete de

fora da Europa (Burkina Faso, Chile, Colômbia, Índia, Malásia, Marrocos e Togo). Nestes últimos, o programa GEFO conta com a colaboração da Commission on Geoscience Education of the International Union of Geological Sciences, IUGS-COGE.

Desde o ano piloto do programa e até final de 2022, realizaram-se 90 oficinas, nas quais participaram aproximadamente 2000 professores. Com o objetivo de divulgar o programa GEFO da EGU e os resultados de implementação deste foram publicados 4 artigos e 11 resumos, e apresentadas 7 comunicações em conferências e encontros de ciência.

Futuramente, o sucesso deste programa poderá justificar a sua continuação e expansão. Contudo, complementarmente, é necessário congregarmos esforços, no sentido de definir uma estratégia concertada de cariz nacional, mas também internacional, para uma valorização do ensino das geociências. Desta forma, estaremos a contribuir para a formação de uma geração de cidadãos geocientificamente conhecedores, e colaborar para a concretização do Pacto Ecológico Europeu e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas e, assim, contribuir para o desenvolvimento sustentável do planeta Terra.

Agradecimentos: O programa GEFO da EGU foi concebido em 2018 pelo Chair do *EGU Education Committee*, Professor Chris King (1949 - 2022), que, lamentavelmente, nos deixou cedo demais.

Referências

- Correia G.P., Pereira, H. & King, C. (2021). O Geoscience Education Field Officer, *Revista Ciência Elementar*, V9(3):056. DOI <http://doi.org/10.24927/rce2021.056>
- Correia, G.P., Realdon G., Coupechoux G., Juan X., Baskar R., Bourgeoini Y. and King, C. (2020). Geoscience Education Field Officer international programme: The first year of activity (May 2019 – April 2020). *ASE International*, 10. 11-21 ISSN: 2515-110X
- King, C., (2019). Earth science education across the globe. *In: Geoscience in primary and secondary education, Volume 2: Results of expert's opinion survey 2018*. UNESCO Office Montevideo and Regional Bureau for Science in Latin America and the Caribbean, 16-36.
- Realdon, G., Coupechoux, G., Correia, G.P., Juan, X., Baskar, R., Bourgeoini, Y. & King, C. (2020). EGU (European Geosciences Union) Education Field Officer programme: teachers' appreciation, perceptions and needs. *European Geologist Journal*, 50,10-14, ISSN: 1028 - 267X. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4311369>.

Uma aproximação pluridisciplinar e integrada à Cartografia Geológica

A multidisciplinary and integrated approach to Geological Mapping

R. Dias (1), I. Leal Machado (2), A. Soares (3), I. Sá (3), B. Dias (3), M. Silva (3) e V. Tereso (3)

- (1) Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra (ICT), Centro Ciência Viva de Estremoz; rdias@uevora.pt
- (2) Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, Centro Ciência Viva de Estremoz
- (3) Centro Ciência Viva de Estremoz

Summary: *Geological mapping is usually taught in a phased approach in which the various concepts are taught in different course units. This means that the techniques for building and interpreting maps began to be learned in a classroom environment and, only in a later course, will be applied in the field using real outcrops. This perspective tends to overemphasize some techniques (e.g. the use of structural contour lines) which, in addition to not being intuitive, have a minor role in real cartographic situations. The Centro Ciência Viva de Estremoz and the Department of Geosciences of Évora University developed a teaching alternative that brings to the classroom a set of small selected outcrops which can be arranged in different positions recreating real geological situations. Thus concepts and techniques can be taught in a unified way, where real rock outcrops gain the prominent place they should have in geological mapping.*

Key words: *Geological mapping, teaching, new methodology*

Palavras-chave: Cartografia geológica, ensino, nova metodologia

Tradicionalmente o ensino tende a segmentar as várias áreas do saber em diferentes disciplinas, que são tratadas de uma forma independente. Obviamente que os *curricula* das licenciaturas são pensados tentando estabelecer pontes de modo a conseguir uma articulação entre os saberes que leve os alunos a conseguirem ir construindo um corpo de conhecimento coeso. O ensino da cartografia geológica nas licenciaturas de Ciências da Terra não é exceção! Normalmente, a lógica utilizada é uma aproximação em três etapas:

- 1ª Etapa- Os alunos adquirem conhecimentos básicos de geologia em disciplinas de geologia geral e da campo onde aprendem, entre outros assuntos a identificar os vários tipos de rochas e estruturas geológicas, bem como as relações entre elas.
- 2ª Etapa- Numa disciplina teórico-prática os alunos aprendem em sala de aula os fundamentos teóricos relacionados com a cartografia geológica e os mapas geológicos. Também em ambiente de sala de aula, os alunos praticam as diversas técnicas associadas à interpretação de mapas topográficos e geológicos (e.g. utilização das curvas de nível e das linhas de contorno estrutural), bem como à elaboração de perfis topográficos e geológicos relacionados com esses mapas.
- 3ª Etapa- Com base nos conhecimentos adquiridos anteriormente, os alunos vão para o campo (geralmente numa disciplina específica), realizar o levantamento geológico de uma região elaborando o mapa geológico respectivo.

Embora esta seja a metodologia de ensino que tradicionalmente é utilizada nos diversos cursos onde a cartografia geológica é ensinada, esta aproximação tem a desvantagem das diversas etapas funcionarem de um modo estanque e, por vezes com pouca ligação entre si, até porque frequentemente as várias etapas são leccionadas em anos diferentes. Por exemplo, as linhas de contorno estrutural, que tendem a ter um lugar de destaque na 2ª etapa, não têm muita utilização (ou esta é muito residual) quando se trata de elaborar ou até interpretar uma carta geológica real. Por outro lado, toda a etapa de ensino da cartografia geológica em sala de aula (i.e. na 2ª etapa), é quase sempre feita sem o apoio de rochas e/ou estruturas geológicas reais. Esta situação leva a que a maior parte dos conceitos teóricos e técnicas de cartografia geológica, sejam leccionados sem a interação com situações geológicas concretas. Esta separação é particularmente prejudicial, numa situação como a cartografia geológica, onde os padrões de afloramento patentes nos mapas resultam da intersecção entre superfícies tridimensionais: a complexa e irregular superfície topográfica e as estruturas geológicas (fig.

1). Por isto, a visualização desta tridimensionalidade não é fácil para a maior parte dos alunos.

Tentando ultrapassar esta situação, o Centro Ciência Viva de Estremoz e o Departamento de Geociências da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, têm vindo a desenvolver no último ano uma forma alternativa de ensino da cartografia geológica, que leva para dentro das salas de aula um conjunto de cerca de três dezenas de pequenos afloramentos (com cerca de 10 a 30 cm), que são dispostos de modo a recriarem situações geológicas concretas. Todos os afloramentos estão fixos a bases de madeira, o que permite que sejam dispostos de acordo com posições previamente escolhidas. Deste modo, torna-se possível construir numa sala de aula, um análogo à escala de situações com que o geólogo se depara no campo quando tem que produzir um mapa geológico a partir de um conjunto de afloramentos dispersos. A grande vantagem desta aproximação é que no exemplo à escala todos os afloramentos são visíveis em simultâneo, tornando-se fácil visualizar as relações tridimensionais entre eles. Isto permite, por exemplo, que conceitos como o problema dos três pontos ou a utilização de linhas de contorno estrutural sejam mais fáceis de concretizar e visualizar.

Para além das vantagens referidas anteriormente, esta aproximação apresenta outras vantagens. Com efeito, é possível, por exemplo, interagir com o conjunto de afloramentos, alterando a sua posição de modo a simular a influência da topografia ou da estrutura geológica no padrão de afloramentos.

Como todos os afloramentos e as relações entre si são observados em simultâneo, e é possível observar estas relações de diferentes pontos de vista, é fácil construir cortes geológicos e blocos diagramas relacionados com o mapa geológico que se está a construir.

Quando as rochas utilizadas são escolhidas tendo em consideração as unidades litostratigráficas portuguesas, torna-se possível que os mapas geológicos construídos nas salas de aula sejam interpretados no contexto da evolução geológica de Portugal. Nas situações que temos vindo a utilizar, as estruturas geológicas simuladas, incluem uma sequência inferior formada por rochas metassedimentares dobradas do Paleozóico (pois um dos afloramentos tem uma trilobite), cortadas por uma superfície de discordância, sobre a qual existe uma sequência monoclinial de rochas sedimentares do mesozóico (pois um dos afloramentos inclui uma amonite). Toda a estrutura está cortada por uma falha, existindo dois afloramentos onde se observa um espelho de falha com estrias que permite discutir a cinemática da falha. Esta falha desloca também uma área com afloramentos de granito que produzem uma orla de metamorfismo de contacto nas formações paleozóicas. As relações referidas anteriormente apresentam semelhanças evidentes com a Geologia de Portugal, pelo que o mapa geológico construído com o auxílio dos afloramentos seja interpretado no contexto da evolução geodinâmica do território português.

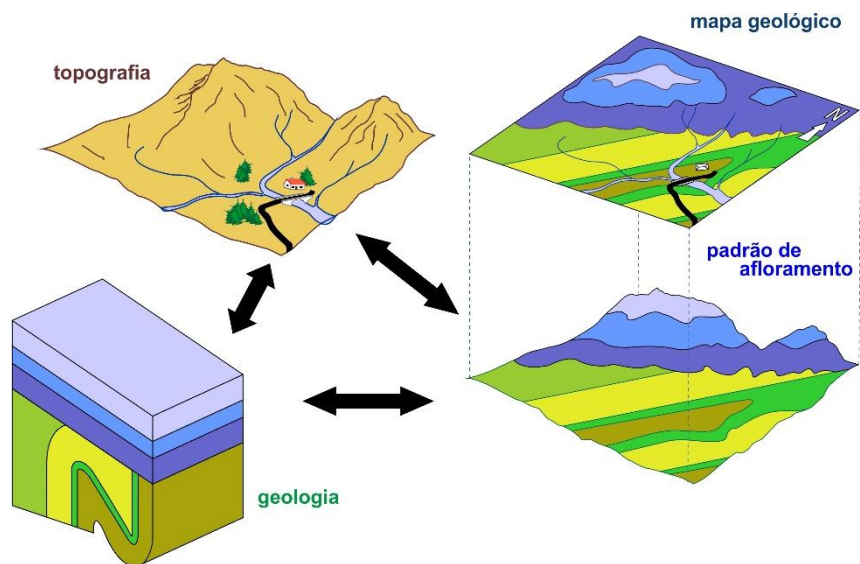


Fig. 1. Interação esquemática entre superfície topográfica, estrutura geológica e padrão de afloramento.

Agradecimentos: Este trabalho integra-se nas actividades do Centro Ciência Viva de Estremoz sendo suportado pelos seus financiamentos.

O Evento Jenkyns (Toarciano inferior) em Portugal. Relevância científica e potencial educativo

The Jenkyns Event (lower Toarcian) in Portugal. Scientific relevance and educational potential

L. V. Duarte (1)

(1) Universidade de Coimbra, MARE-ARNET e Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal

Summary: *This work characterises the Jenkyns Event (Toarcian, ~183 My), one of the global change events in the Earth history that has one of the best records in Portugal. The results of the intense scientific research carried out in places such as Peniche and Rabaçal, where there is a high-resolution stratigraphic knowledge, are shown. Being a great example in the perception of how the different terrestrial systems interact, such as the biosphere, oceans, atmosphere and lithosphere, this work emphasizes the relevance of this record in terms of scientific literacy and all the educational potential, from the research dissemination to advanced training.*

Key words: *Scientific research, educational activities, global changes, Lower Jurassic, Portugal*

Palavras-chave: *Investigação científica, atividades educativas, mudanças globais, Jurássico Inferior, Portugal*

A imensa história geológica da Terra está repleta de eventos de mudança à escala planetária, que se identificam nas rochas através de evidências bióticas e abióticas. São os casos, entre outros, das cinco grandes extinções em massa, dos diferentes eventos oceânicos anóxicos do Fanerozoico ou dos mais recentes, máximo térmico do Paleocénico-Eocénico e as glaciações plistocénicas. Para além da ocorrência de possíveis impactos de objetos extraterrestres, a maioria destes eventos terão resultado da interação entre os principais sistemas terrestres, ou seja, entre a biosfera, oceanos, atmosfera e litosfera. Como tal, constituem bons exemplos de aprendizagem, na compreensão dos conceitos e processos científicos envolvidos, com particular ênfase no tema, bem atual, das alterações climáticas. Tendo em conta este enquadramento, o presente trabalho centra-se no evento oceânico anóxico do Toarciano (~183 Ma), recentemente apelidado de Evento Jenkyns, por resultar de uma sobreposição de acontecimentos, muito para além da anoxia do ambiente marinho (e.g. Reolid *et al.*, 2020). Tem como objetivos a prova do impacto científico das investigações realizadas, a singularidade do seu registo em Portugal, bem como do seu potencial educativo, evidenciado a partir das múltiplas atividades realizadas.

O território português é mundialmente conhecido pelo seu relevante registo carbonatado, datado do Jurássico Inferior e materializado, essencialmente, na Bacia Lusitânica (e.g. Duarte, 2004; Duarte *et al.*, 2017). Uma sucessão estratigráfica maioritariamente composta por alternâncias marga-calcário, que exibem uma grande diversidade fossilífera, de origem

marinha, associada a um ambiente de rampa carbonatada. A riqueza em fósseis de amonites, patente em grande parte das secções da Bacia Lusitânica, possibilita uma ótima datação de grande parte da sucessão estratigráfica. Com os impactos de correlação à escala global que este tipo de argumentos paleontológicos proporciona, e que inclui o estratotipo de limite entre o Pliensbaquiano e o Toarciano. É neste contexto sedimentar e estratigráfico que se regista o Evento Jenkyns, particularmente bem estudado e discutido nas secções estratigráficas de Peniche e de Rabaçal. Desde o trabalho pioneiro de geoquímica isotópica de Hesselbo *et al.* (2007), onde se demonstrou que a perturbação do ciclo do CO₂ terá afetado não só o ambiente marinho como a própria atmosfera, que estes locais têm sido analisados por vários grupos de investigação internacionais, ao abrigo de diferentes projetos científicos. Os estudos suportam-se, entre outros, na análise de parâmetros abióticos, como a geoquímica isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{11}\text{B}$, $\delta^{44}/^{40}\text{Ca}$), e bióticos, como a análise da matéria orgânica e do registo de toda a componente fóssil presente na sucessão estratigráfica. Com artigos publicados nas revistas mais diversas e de maior impacto científico no domínio das ciências da Terra, os dados analisados do Evento Jenkyns em Portugal permitem retirar várias ilações (e.g. Hesselbo *et al.*, 2007; Duarte *et al.*, 2018; Fantasia *et al.*, 2019; Rodrigues *et al.*, 2020; Müller *et al.*, 2020; Ullmann *et al.*, 2020; Font *et al.*, 2022; e referências aqui contidas): i) comprova-se que a sedimentação ocorrida em Portugal não terá sido sujeita a condições de anoxia (tal como noutras partes do globo); ii) as

evidências isotópicas de oxigénio apontam para um claro sobreaquecimento da água do mar; iii) embora os dados ainda não sejam consensuais, é possível que este evento esteja associado a um fenómeno de acidificação; iv) a forte rutura biológica aqui observada, que se justifica na reconhecida extinção em massa de 2ª ordem, é marcante nos organismos bentónicos, como os braquiópodes e ostracodos, bem como nos impactos nos registos de dinoflagelados, nanofósseis calcários, foraminíferos, bivalves e belemnites; v) uma das mais recentes evidências a partir de dados de Peniche, é a boa sintonia do seu registo com a atividade vulcânica associada à província magmática de Karoo-Ferrar (Font *et al.*, 2022). Sendo o vulcanismo, de entre as várias hipóteses, o melhor argumento a justificar toda a multiplicidade de

evidências abióticas e bióticas associadas a este evento.

Esta narrativa demonstra a relevância científica do Evento Jenkyns, certamente como o melhor exemplo da história da Terra registado em território português, com vista ao entendimento das mudanças à escala global e à perceção das interações entre os diversos sistemas do nosso planeta. Neste contexto, de sustentação científica, abrem-se as melhores perspetivas quanto à discussão destas temáticas ao nível educativo e no estímulo à literacia científica. Como demonstração deste potencial, são apresentados exemplos das atividades realizadas, que incluem ações de divulgação e ensino não formal, atividades de campo e cursos avançados, com ênfase no ensino universitário e na formação de professores.

Agradecimentos: Aos projetos UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020, MARE e do ARNET (LA/P/0069/2020).

Referências

- Duarte, L.V. (2004). The geological heritage of the Lower Jurassic of Central Portugal: selected sites, inventory and main scientific arguments. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 110, 381–388.
- Duarte, L.V, Silva, R.L., Félix, F.F., Comas-Rengifo, M.J., Rocha, R.B., Mattioli, E., Paredes, R., Mendonça Filho, J.G. & Cabral, M.C. (2017). The Jurassic of the Peniche Peninsula (Portugal): scientific, educational and science popularization relevance. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 30(1), 55–70.
- Duarte L.V., Comas-Rengifo M.J., Hesselbo S., Mattioli E., Suan G., Baker, S., Cabral, M.C., Correia, V., García Joral, F., Goy, A., Reolid, M., Rita, P., Félix, F., Paredes, R., Pittet, B. & Rocha, R. B. (2018). The Toarcian Oceanic Anoxic Event at Peniche. An exercise in integrated stratigraphy - Stop 1.3. In: Duarte, L.V. & Silva, R. L. (eds), 2nd Int Workshop on the T-OAE: Field Trip Guidebook, Coimbra: The Toarcian Oceanic Anoxic Event in the Western Iberian Margin and its context within the Lower Jurassic evolution of the Lusitanian Basin (ISBN 978-989-98914-4-9) 33-54.
- Hesselbo, S.P., Jenkyns, H.C., Duarte, L.V. & Oliveira, L.C.V. (2007). Carbon-isotope record of the Early Jurassic (Toarcian) Oceanic Anoxic Event from fossil wood and marine carbonate (Lusitanian Basin, Portugal). *Earth and Planetary Science Letters*, 253, 455–470.
- Fantasia, A., Adatte, T., Spangenberg, J. E., Font, E., Duarte, L.V. & Föllmi, K. B. (2019). Global versus local processes during the Pliensbachian–Toarcian transition at the Peniche GSSP, Portugal: A multi-proxy record. *Earth-Science Reviews*, 198, 102932.
- Font, E., Duarte, L.V., Dekkers, M.J., Remazeilles, C., Egli, R., Spangenberg, J.E., Fantasia, A., Ribeiro, J., Gomes, E., Mirão, J. & Adatte, T. (2022). Rapid light carbon releases and increased aridity linked to Karoo–Ferrar magmatism during the early Toarcian oceanic anoxic event. *Scientific Reports*, 2022, 12(1), 4342.
- Müller, T., Jurikova, H., Gutjahr, M., Tomašových, A., Schlögl, J., Liebetrau, V., Duarte, L.V., Milovský, R., Suan, G., Mattioli, E., Pittet, B. & Eisenhauer, A. (2020). Ocean acidification during the early Toarcian extinction event: Evidence from boron isotopes in brachiopods. *Geology*, 48 (12), 1184–1188.
- Reolid, M., Mattioli, E., Duarte, L.V. & Marok, A. (2020). The Toarcian Oceanic Anoxic Event and the Jenkyns Event (IGCP-655 final report). *Episodes*, 43, 1–12.
- Rodrigues, B., Duarte, L. V., Silva, R. L. & Mendonça Filho, J. G (2020). Sedimentary organic matter and early Toarcian environmental changes in the Lusitanian Basin (Portugal). *Palaeog. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 554, 109781.
- Ullmann C.V., Boyle R., Duarte L.V., Hesselbo S.P., Kasemann S.A., Klein T., Lenton T.M., Piazza V., Aberhan M., 2020. Warm afterglow from the Toarcian Oceanic Anoxic Event drives the success of deep-adapted brachiopods. *Scientific Reports*, 10, 6549.

A página das Olimpíadas Portuguesas da Geologia na Internet: divulgação de Ciência e formação informal

The Portuguese Geology Olympics webpage: Science popularization and informal learning

J. Ferreira (1) e J. C. Kullberg (2)

- (1) Sociedade Geológica de Portugal; Agrupamento de Escolas de Parede, Cascais; jorge.ferreira@socgeol.pt.
- (2) Departamento Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, e GeoBioTec – polo FCT, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica.

Summary: *The Geological Society of Portugal (SGP) created, in 2023, in its website, the Portuguese Geology Olympics (OPG) webpage, to disseminate and consolidate this educational initiative, highlighting its actors (students and teachers). It is a repository of the OPG and the IESO (International Earth Science Olympiad), since 2015, including all the tests of both contests. Additionally, it will offer the possibility to explore, in an interactive way, the resolution of the OPG tests, with a system that provides explanations for all the answers, constituting a pedagogical support for the teaching-learning process in Geology.*

Key words: *Portuguese Geology Olympics (OPG), OPG website, Geological Society of Portugal (SGP), teaching-learning process in Geology, Biology and Geology teachers, informal learning.*

Palavras-chave: *Olimpíadas Portuguesas da Geologia (OPG), sítio das OPG, Sociedade Geológica de Portugal (SGP), ensino-aprendizagem da Geologia, professores de Biologia e Geologia, ensino informal.*

O sítio da Internet das Olimpíadas Portuguesas da Geologia - OPG (<https://opg.socgeol.pt/>), integrado no sítio da Sociedade Geológica de Portugal (SGP), foi lançado no início de 2023, com o objetivo de divulgar a iniciativa e de destacar os seus atores – os estudantes e os professores –, bem como ir disponibilizando os testes que se vão realizando anualmente. Trata-se de um repositório de informação das várias edições e também das edições da IESO (*International Earth Science Olympiad*), desde que Portugal participa neste evento internacional (2015).

Relativamente às OPG, apresenta-se um histórico das diversas edições. Para cada uma delas, além de uma síntese descritiva que destaca os níveis de participação e as escolas com maior capacidade de mobilização, mostra-se a lista de escolas inscritas e a classificação dos alunos finalistas, com os três primeiros a formar a equipa de Portugal na IESO do mesmo ano. Há, ainda, um campo destinado às “OPG na comunicação social” e uma galeria de fotos e vídeos.

O separador relativo à IESO (<https://opg.socgeol.pt/ieso>) replica o do histórico das OPG, apresentando um resumo do que foi cada uma das edições e destacando a participação (notável) das equipas portuguesas, naquele evento.

Adicionalmente, a página das OPG pode ser explorada como ferramenta pedagógica, proporcionando não apenas um repositório completo dos testes já realizados, como as respetivas matrizes de correção,

organizados por fases (escolar, regional e final) e, dentro de cada fase, por anos (Fig. 1). Esta organização privilegia a pesquisa por conteúdos, porque as provas de cada fase cobrem a mesma gama de matérias da disciplina que serve de referência às OPG – Biologia e Geologia (BG), do ensino secundário (só componente de Geologia); por exemplo, a fase escolar contempla apenas as matérias do 10.º ano e a fase final (nacional), a totalidade das matérias (10.º e 11.º anos). A utilização dos testes pode fazer-se, para já, só de forma estática mas está em curso a introdução de uma funcionalidade que permitirá ao utilizador uma abordagem interativa, levando-o a resolver não apenas os testes das OPG mas outros pacotes de questões, cuja seleção é feita aleatoriamente pelo sistema, embora condicionada pelos filtros curriculares previamente definidos pelo utilizador (questões relacionadas com um dado tema, uma determinada aprendizagem essencial – AE – ou uma palavra-chave selecionada).

Nessas condições, cada resposta (certa ou errada) dada pelo utilizador, representada por uma letra (os testes são integralmente constituídos por itens de escolha múltipla), fará surgir uma explicação no momento da apresentação da resposta. Estas explicações têm um nível de detalhe que cobre as necessidades curriculares, assim como fornecem informação adicional útil, sobretudo, a título de formação complementar, para estudantes e professores, remetendo, no seu conjunto, para

dezenas de *links* (documentários, pequenos filmes, animações, figuras, sites, textos,...) criteriosamente selecionados, obedecendo a critérios de qualidade e correção científica.

Trata-se, assim, de uma forma de se tentar suprir uma necessidade que, no seu atual contexto profissional, os docentes de BG muito dificilmente conseguem assegurar, por sobrecarga letiva e excesso de serviço burocrático e, também, nalgumas situações, por dificuldade de atualização científica na área da Geologia, devido à escassez de ações de formação. Este são alguns dos exigentes desafios com que são confrontados, no seu dia-a-dia e que podem ser resolvidos através de experiências formativas formais e informais diversificadas (Marcelo, 2009, citado por Rebelo, 2014), numa lógica de “evolução e continuidade da formação, afastando-se, assim, da dicotomia formação inicial / formação contínua” (Rebelo, 2014).

Numa primeira fase, serão contempladas todas as provas da fase escolar, que totalizam 360 itens (alguns deles referem-se a conteúdos entretanto excluídos das AE e, por isso, também excluídos da nossa base de dados) e, portanto, igual número de respostas, com as respetivas explicações. Dado um tão grande volume de informação, esperamos que esta aplicação, acessível

na página das OPG, permita esclarecer dúvidas existentes no espírito de alguns professores e, mesmo, pôr em causa algumas conceções alternativas.

Outra vertente formativa está relacionada com a partilha de boas práticas pedagógicas que resultará dos testemunhos pessoais de professores destacados no contexto das OPG. Ou pela sua elevada capacidade de mobilização dos estudantes ou pelos bons resultados dos seus alunos ou, simplesmente, pela forma entusiástica como aderem à iniciativa, há professores que se destacam e que têm um espaço reservado na página das OPG, para o justo reconhecimento público do seu trabalho. Acaba por ser uma homenagem simples mas muito simbólica, aos professores e, em particular, aos de BG, por tudo aquilo que acrescenta valor ao percurso formativo dos seus alunos. Ao mesmo tempo, tratando-se de um espaço de intercâmbio de experiências pedagógicas diversas, “ficam disponíveis, para cada docente, ferramentas para explorar e construir novas formas de ensinar e de fazer aprender” (Pereira *et al.*, 2019).

Para além do seu valor documental, o sítio das OPG pode constituir, portanto, pelo seu potencial pedagógico, uma mais-valia interessante, no contexto do ensino-aprendizagem da Geologia.

The screenshot shows the OPG website interface. At the top, there is a navigation menu with links: INICIO, LIGAÇÕES, QUEM SOMOS, HISTÓRICO, TESTES, IESO, PARCEIROS, and SOC. GEOLÓGICA DE PORTUGAL. Below the menu, there are several rows of colored buttons representing years from 2014-2015 to 2022-2023. The interface is organized into three main sections: 'Fase Regional', 'Fase Final', and a 'Limpar' button. At the bottom, there is a table with columns for 'Ano' and 'Tipo Documento'. The table contains two rows for the year 2022, one for 'Fase Escolar - Resolução' and one for 'Fase Escolar'. Each row has a 'Transferir' button. The 'Fase Escolar' row also has a 'Fazer teste' button.

Ano	Tipo Documento	Ações
2022	Fase Escolar - Resolução	Transferir
2022	Fase Escolar	Fazer teste, Transferir

Fig. 1. Organizados por fases, como primeiro critério, os enunciados dos testes e as respetivas matrizes de correção podem, simplesmente, ser transferidos ou permitir a resolução interativa, através do botão “Fazer teste”.

Referências

- Pereira *et al.* (2019). Livro de Resumos Partilha de Práticas 2019: 3T's - Teachers Teaching Teachers: Politécnico de Leiria.
- Rebelo, D. (2014). Desenvolvimento profissional de professores de ciências: um estudo no contexto da geologia. 2014. TESE (Doutorado em Didática e Formação). Universidade de Aveiro, Departamento de Educação, Aveiro, Portugal.

Ensinar geociências numa perspetiva de Desenvolvimento Sustentável ao longo do Ensino Básico

Teaching geosciences from a Sustainable Development perspective throughout Basic Education

P. João (1), M. H. Henriques (2) e A. V. Rodrigues (3)

- (1) CIDTFF – Universidade de Aveiro - Portugal & Centro de Geociências – Universidade de Coimbra - Portugal, pat.joao@ua.pt
 (2) Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento Ciências da Terra - Portugal;
 (3) CIDTFF & Departamento de Educação da Universidade de Aveiro - Portugal

Summary: Curriculum documents for Sciences in Basic Education in Portuguese schools (ages 6 to 15) that currently guide teachers' practices integrate Sustainable Development concerns regarding soils. However, a large gap emerges between official documents and teachers' perceptions of how to address such issues. So, urgent measures are needed to bridge those two worlds: reformulation of official documents that guide teachers' practices, teachers' education and provision of educational resources focused on soils from a Sustainable Development perspective. Proposals to meet such needs are presented in this work.

Key words: Education for Sustainable Development, Geoscience Education, Science Curricular Guidelines, Teaching Education

Palavras-chave: Educação para Desenvolvimento Sustentável, Educação em Geociências, Documentos Curriculares de Ciências, Formação Contínua de Professores.

A Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (UN, 2015), com a finalidade de criar metas alcançáveis até 2030, visando a melhoria da qualidade de vida no planeta.

Mas alcançar os ODS não depende apenas dos governos, também depende de todos os cidadãos, tendo as crianças e jovens um papel fundamental no apelo global à participação. A escola surge como uma parceira essencial para tornar a Agenda 2030 conhecida, incentivando, assim, todas as pessoas a participarem no desafio de atingir os ambicionados ODS (DGE, 2015).

O atual sistema educativo português já integra diretrizes internacionais promotoras de Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), assumindo o conceito de Desenvolvimento Sustentável (DS) numa perspetiva multidimensional e transversal, quer nos documentos curriculares, quer nos documentos de referência (João et al., 2022a; João et al., 2022b).

Em 2008, a Assembleia Geral das Nações Unidas votou, por unanimidade, a consagração do Ano Internacional do Planeta Terra (AIPT) (Mulder et al., 2006), enquadrado na Década das Nações Unidas da EDS (2005-2014). O AIPT teve como objetivo promover a utilização do conhecimento existente de cerca de meio milhão de cientistas da Terra em todo o mundo em prol da melhoria da vida quotidiana, tendo sido o "Solo - a pele da Terra" um dos temas científicos selecionados (Dent et al., 2005).

A presente investigação emerge destas preocupações e orientações. Através dela, pretendeu-se criar as condições para a coconstrução de um conjunto integrado de atividades e respetivos recursos didáticos, com uma visão progressiva, sistemática e sequencial sobre a temática "solos", a implementar nas disciplinas de Estudo do Meio e de Ciências Naturais do Ensino Básico (EB).

Nesta investigação optou-se pela abordagem metodológica designada por *Educational Design Research* (EDR) (McKenney & Reeves, 2020; Plomp & Nieveen, 2013). Na Tabela I apresentam-se as técnicas e respetivos instrumentos para recolha de dados utilizados nesta investigação.

Tabela I - Técnicas e respetivos instrumentos para recolha de dados (PF: professores formandos)

Técnicas de recolha de dados	Instrumentos para recolha dos dados
Inquérito	Questionário (João et al., 2021)
	Guião da entrevista
Compilação documental	Trabalhos dos PF (Recursos didáticos)
	Posters finais dos PF (Comunicação oral do trabalho desenvolvido)
	Autoavaliação dos PF
Observação participante	Notas da investigadora
	Vídeo-gravações
	Resumo das vídeo-gravações
	Diário da investigadora (notas, reflexões)

Foram ainda definidas as questões de investigação e organizadas as tarefas a realizar, segundo as fases e ciclos do EDR.

De seguida, entendeu-se ser necessário identificar e caracterizar o entendimento do conceito de DS presente nos documentos curriculares de Estudo do Meio e em alguns documentos de referência do 1º Ciclo do Ensino Básico (CEB), bem como dos documentos curriculares de Ciências Naturais e em alguns documentos de referência dos 2º e 3º CEB, e posteriormente, restringir esta análise à temática “solos”. Analisaram-se, ainda, as perceções do grupo de professores envolvidos na investigação sobre esses documentos curriculares e de referência, e sobre as suas próprias práticas educativas. Da análise dos resultados obtidos, emergiu uma proposta de reorganização dos documentos das Aprendizagens Essenciais do EB para as escolas portuguesas, que incluem: i) definição dos conhecimentos, capacidades, atitudes e valores que se pretende que os alunos revelem; ii) apresentação dos ODS que podem ser promovidos com o desenvolvimento da temática “solos”; iii) exemplos de articulações verticais e horizontais que podem ser estabelecidas, entre outras (João et al., 2022a).

Mas, também dos resultados dos questionários (João et al., 2022a), corroborado pela literatura, é reconhecido que, para que estas propostas de reorganização tenham impacto nas práticas dos professores, é fundamental, por exemplo, dotá-los de recursos didáticos relativos ao tema, neste caso, sobre “solos”, alinhados com as preocupações de DS. Uma

das formas de o fazer é através da conceção e desenvolvimento de Programas de Formação Contínua, que auxiliem os professores nas suas práticas educativas. Neste contexto, organizou-se uma Oficina de Formação, no decurso da qual foi concebida, elaborada e validada uma sequência didática, com respetivos recursos sobre “solos”, para cada um dos nove anos de escolaridade, e que visa dar suporte a práticas de ensino experimental das ciências, numa perspetiva de EDS.

Desta investigação resultou um conjunto de produtos: i) um modelo de Oficina de Formação Contínua para professores de ciências dos três ciclos do EB; ii) uma proposta de reorganização das Aprendizagens Essenciais sobre a temática “solos” numa perspetiva de EDS, ao longo do EB; iii) uma proposta de Sequência Didática (uma ou duas atividades por ano de escolaridade) com os respetivos recursos, sobre “solos” para o ensino das ciências do 1º ao 9º ano de escolaridade.

Espera-se que estes produtos possam ser inspiradores para outras temáticas e para outros contextos escolares integrados no sistema educativo português, que abarca também as comunidades escolares que se orientam pelo mesmo currículo nos países lusófonos, nomeadamente Angola, Guiné-Bissau, Moçambique, S. Tomé e Príncipe, Cabo Verde, Macau e Timor-Leste (DGAE, 2022).

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado: 1) pela FCT com a Bolsa de Doutoramento SFRH/BD/132272/2017; 2) através do Fundo Social Europeu e Programa Operacional de Capital Humano por Fundos Nacionais através da FCT, no âmbito dos projetos UIDB/00194/2020, UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020.

Referências

- Dent, D., Hartemink, A., & Kimble, J. (2005). *Soil – Earth’s living skin*. International Year of Planet Earth. IUGS – Norway. <http://yearofplanetearth.org/content/downloads/Soil.pdf>
- DGAE (2022). *Ensino e Escolas Portuguesas no Estrangeiro*. <https://www.dgae.mec.pt/eepe>
- DGE (2015). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. <https://www.dge.mec.pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods>
- João, P., Henriques, M. H., & Rodrigues, A. V. (2022a). Sustainable Development and Soils in the Portuguese Education System: Open Problems and Further Challenges. *Education Sciences*, 12(672): 1-30. <https://doi.org/10.3390/educsci12100672>
- João, P., Rodrigues, A. V., & Henriques, M. H. (2021). Ensino de Geociências e Desenvolvimento Sustentável: concepção e validação de questionários. *Praxis*, 17(48), 213-233. <https://doi.org/10.22481/praxisedu.v17i48.8810>
- João, P., Sá, P., Henriques, M. H., & Rodrigues, A. V. (2022b). Sustainable Development in Basic Education Sciences in Portugal - Perspective of Official Curriculum Documents. *Sustainability* 14(9) (5651): 1-14. <https://doi.org/10.3390/su14095651>
- McKenney, S., & Reeves, T. (2020). Educational design research: Portraying, conducting, and enhancing productive scholarship. *Medical Education*, 55: 82-92. <https://doi.org/10.1111/medu.14280>
- Mulder, E. F. J., Nield, T., & Derbyshire, E. (2006). The International Year of Planet Earth (2007-2009): Earth Sciences for Society. *Episodes*, 29(2), pp. 82-86. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2006/v29i2/001>
- Plomp, T., & Nieveen, N., (Eds.). (2013). *Educational design research*. SLO.
- UN [United Nation] (2015). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E

Bem-estar e morte: temas chave para a promoção da Geodiversidade

Well-being and death: key themes for the promotion of Geodiversity

N. Lima (1) e D. I. Pereira (2)

- (1) Centro Ciência Viva de Lagos (nlima@lagos.cienciaviva.pt)
(2) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho

Summary: *Ignorance about the close relationships between geodiversity, life, well-being, and death became a problem given the environmental changes, the exponential population growth and exploitation of natural resources. It is necessary to make society aware of the importance of good management of the range of geosystem services that benefit humanity, just as the conservation of the natural resources and processes that produce these resources. Facing a scenario where learning Geosciences is unattractive and sometimes poorly explored in school curricula and the lack of didactic resources of an interdisciplinary nature in Natural Sciences, especially about themes related to the role of geodiversity in the context of ecosystem services. The Big Ideas, developed under the Earth Science Literacy Initiative (ESLI), can be an essential framework to be followed in the teaching and popularization processes.*

Key words: *geodiversity, Earth Science, literacy, ecosystem services, education*

Palavras-chave: geodiversidade, geociências, literacia, serviços dos ecossistemas, educação

A geodiversidade desempenha um papel essencial na manutenção das condições favoráveis à vida e na garantia e desenvolvimento do bem-estar humano. Compreender as contribuições e a relevância da geodiversidade no contexto dos serviços dos ecossistemas e, especialmente, compreender as possíveis consequências do impacto das nossas atividades é vital para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis.

A falta de informação sobre as estreitas relações entre a geodiversidade, a vida, o bem-estar e a morte tornou-se um problema dadas as mudanças ambientais e o crescimento exponencial da população. Em especial a crescente exploração dos recursos naturais tem contribuído para uma progressiva degradação da qualidade de vida de muitos, colocando em causa a sobrevivência das futuras gerações. É necessário sensibilizar a sociedade para a importância da boa gestão da gama de serviços da geodiversidade que beneficiam a humanidade, tal como a conservação dos recursos naturais e dos processos que os produzem (Lima e Pereira, 2023).

O ordenamento dos serviços da geodiversidade, seguindo o modelo dos serviços dos ecossistemas, foi um passo essencial para o lançamento de novas abordagens em ensino e popularização das geociências. A aprovação da proclamação do Dia Internacional da Geodiversidade em 2021, pelo Conselho Executivo da UNESCO, também ajuda a

reforçar o apelo para a importância da geoconservação e o despertar do interesse da sociedade.

As geociências são especialmente importantes neste momento da história em que enfrentamos grandes desafios como a diminuição de recursos energéticos tradicionais e de recursos minerais, as mudanças climáticas, os desastres ambientais de origens antrópicas e a escassez de água e solo cultivável - diretamente relacionados com as Ciências da Terra.

Desse modo, a iliteracia cultural é considerada a maior das ameaças à integridade da geodiversidade e dos serviços por ela prestada, uma vez que a carência ou mesmo ausência total de conhecimentos sobre determinado assunto é um grande passo para a sua degradação (Brilha, 2005).

Cada vez mais, políticos e gestores terão de tomar difíceis decisões a respeito de questões relacionadas com o manuseio dos sistemas da Terra, das quais dependerá a sobrevivência da humanidade. Torna-se assim importante que também a população em geral conheça os valores da geodiversidade de forma que todos compreendam e tomem decisões conscientes e responsáveis a respeito do uso dos recursos da Terra.

Apesar da presença assinalável de conteúdos dedicados às geociências nos currículos escolares dos ensinos básico e secundário em Portugal, estes revelam-se pouco atrativos e existe carência de recursos didáticos de natureza interdisciplinar em

Ciências Naturais (Lima, 2022), especialmente sobre os valores e serviços da geodiversidade. O uso das Grandes Ideias, desenvolvidas no âmbito da Earth Science Literacy Initiative (ESLI) (Wysession et al. 2009), associadas aos serviços geossistêmicos, pode servir como diretriz a ser seguida nos processos de ensino e popularização da geodiversidade (Lima e Pereira, 2023) e contribuir para desencadear uma maior atratividade e empatia dos alunos no ensino formal. As Grandes Ideias e os serviços da geodiversidade são facilmente identificados e valorizados, atendendo à sua relação clara com o dia a dia e o bem-estar de cada um de nós.

A ESLI consiste em um documento sucinto que reuniu conhecimentos produzidos pelas Ciências da Terra e estabeleceu 77 conceitos relevantes que todo cidadão deve conhecer sobre Ciências da Terra, agrupados em nove "Grandes Ideias". De um modo geral, os conceitos de Ciências da Terra trabalhados na ESLI podem ser relacionados não só com as condições e os processos fundamentais para a manutenção da vida e do bem-estar humano mas também com os riscos geológicos e as catástrofes, temas que merecem uma especial atenção da população em geral (Fig. 1).

Tal como exemplificado por Lima & Pereira (2023), esta forma de abordagem ao papel da geodiversidade na gestão sustentável dos serviços bióticos e abióticos dos ecossistemas pode ser melhor explorado tanto no contexto da educação formal quanto informal através da produção de veículos de comunicação criativos e modernizados. Neste processo deve ser destacada a importância da boa gestão dos recursos geológicos e

da geoconservação, ações que contribuem para uma atenuação global do declínio da biodiversidade, relação que a sociedade ainda não compreende (Alahuhta et al. 2019).

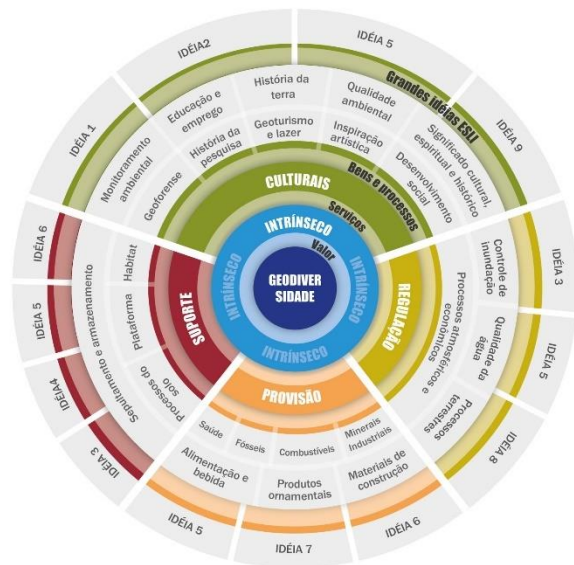


Fig. 1. Diagrama da relação entre os serviços da geodiversidade e as Grandes ideias da ESLI. Fonte: (Lima, 2022)

Agradecimentos: Este trabalho é apoiado pelo financiamento concedido pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., projetos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

Alahuhta, J., Toivanen, M. & Hjort, J. (2019). Geodiversity-biodiversity relationship needs more empirical evidence. *Nat Ecol Evol* 4(1):2–3. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1051-7>

Brilha, J.B.R. (2005). Património geológico, geoconservação: A conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga, Portugal: Palimage.

Lima, N.P. & Pereira, D.I. (2023). Living and Dying on Planet Earth: an Approach to the Values of Geodiversity. *Geoheritage* 15, 4. <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00776-8>.

Wysession, M., LaDue, N., Budd, D., Campbell, K., Conklin, M., Lewis, G., Reynolds, R., Ridky, R., Ross, R., Taber, J., Tewksbury, B. & Tuddenham, P. (2009). *Earth science literacy principles*, (fold-out brochure), National Science Foundation. <http://www.earthscienceliteracy.org/>

Registo Instrumental dos efeitos físicos do Evento de Tunguska no Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra

Instrumental recording of the physical effects of the Tunguska Event at the Geophysical and Astronomical Observatory of the University of Coimbra

F. C. Lopes (1), A. I. Gomes (2) e P. Ribeiro (3)

- (1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra & Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra; fernando.c.lopes@dct.uc.pt
- (2) Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra
- (3) Universidade de Coimbra, Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra & Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra

Summary: *The Tunguska explosion occurred in Central Siberia on the morning of June 30, 1908 (around 0 h 13 min, GMT), devastated a large area of forest and triggered major geophysical, meteorological and biological disturbances. Seismic shocks, fluctuations in atmospheric pressure and anomalies in the geomagnetic field have been recorded in several places in northern and central Eurasia. At that time, magnetic, meteorological and seismic observations were made at the Meteorological and Magnetic Observatory of the University of Coimbra (Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra; OMMUC). In this work, we proceeded to the analysis of the seismic and magnetic records belonging to the documental heritage of the old OMMUC, in order to identify any disturbance that could be attributed to the Tunguska Event. It was possible to conclude that, while the seismic vibration caused by the Tunguska explosion was registered, the same did not happen with the geomagnetic disturbance.*

Key words: *Tunguska Event, seismic records, magnetic records, Meteorological and Magnetic Observatory, University of Coimbra*

Palavras-chave: Evento de Tunguska, registos sísmicos, registos magnéticos, Observatório Meteorológico e Magnético, Universidade de Coimbra

Introdução: Na manhã de 30 de junho de 1908, algo vindo do espaço exterior explodiu sobre a taiga da Sibéria Central com um clarão cegante e um impacto incrivelmente destruidor. Estima-se que esta poderosa explosão, acompanhada por uma radiação térmica ionizante e por precipitação moderadamente radioativa (e.g. Rubtsov, 2012; Johnston & Stern, 2019), foi equivalente à detonação de 30 a 50 milhões de toneladas de TNT (Pasechnik 1976), arrasando cerca de 2150 km² de floresta, derrubando cerca de 30 milhões de árvores e ateando incêndios que duraram vários dias (Fig. 1). As estações sísmicas de Irkutsk (900 km a sul), São Petersburgo (3500 km a oeste) e Jena (Alemanha, a 5200 km a sudoeste) registaram a vibração do solo provocada pela explosão (e.g. Rubtsove, 2012). Flutuações da pressão atmosférica, num período de 20 minutos, foram detetadas nas estações meteorológicas da Rússia e da Grã-Bretanha (e.g. Zolotov, 1967, 1969; Rubtsove, 2012). Minutos após a explosão, perturbações do campo geomagnético foram também detetadas em território russo (Ivanov, 1961, 1964; Zhuravlev, 1998).

Durante dois meses, por todo o hemisfério norte, as noites foram invulgarmente brilhantes (“noites luminosas”, Turco et al., 1982).

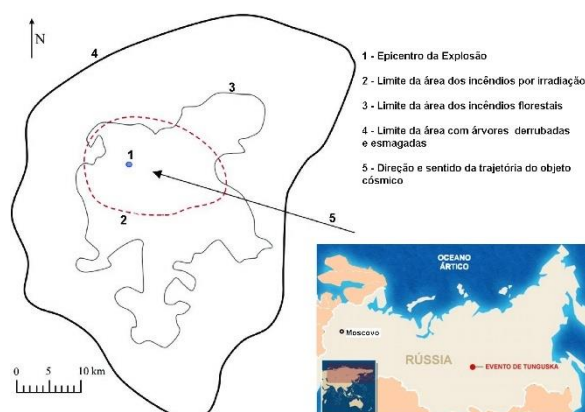


Fig. 1. Mapa simplificado com a área de floresta arrasada pela explosão de Tunguska e com a trajetória aproximada do objeto cósmico (Adap. Johnston & Stern, 2019).

Nessa altura, funcionava na Universidade de Coimbra o Observatório Meteorológico e Magnético (OMMUC), fundado em 1864 (e.g. Ribeiro et al., 2011), e que desde 1903 efetuava também observações sismográficas de forma contínua (e.g. Custódio et al., 2012). O objetivo deste trabalho é identificar, na coleção histórica existente, os registos sísmico e magnético do maior impacto cósmico dos tempos modernos.

Registo sísmico: À data da explosão de Tunguska, já funcionava no OMMUC a estação sísmica COI, apetrachada com um sismógrafo de Milne (e.g. Custódio et al., 2012). A análise detalhada do rolo relativo ao período entre 29 de junho de 1908 e 6 de julho de 1908, permitiu identificar, na posição correspondente ao início do dia 30, uma oscilação no registo do sismógrafo de Milne. Apesar de não ser possível referir com exatidão a hora desta oscilação, constata-se que a vibração sísmica registada teve uma duração de cerca de 13 minutos, com uma amplitude máxima de cerca de 0,05 cm. Não tendo ocorrido nenhum evento tectónico conhecido neste período temporal, e sabendo que, em 1908, a estação COI se localizava fora da cidade de Coimbra, em local isolado e sossegado a esta hora da madrugada, pode concluir-

se que esta oscilação no registo sísmico da COI se deve à vibração do solo desencadeada pela explosão de Tunguska ocorrida na Sibéria, a mais de 9000 km de distância.

Registo magnético: Em nenhuma das curvas (H, D, Z) dos magnetogramas históricos do OMMUC é possível assinalar, com segurança, qualquer perturbação significativa relacionada com a explosão de Tunguska (período compreendendo, aproximadamente, as últimas 3 horas do dia 29 e as primeiras do dia 30 de Junho de 1908). Este fato parece confirmar que o efeito magnético da explosão de Tunguska tenha sido essencialmente regional.

Considerações finais: O Evento de Tunguska de 1908 foi excecional, dentro do seu género, e teve consequências à escala global. A identificação nos registos da estação COI da vibração sísmica provocada pelo Evento de Tunguska, só foi possível pela reanálise dos rolos de registo sísmico do início do séc. XX. Tal facto vem reforçar a importância da reavaliação e reanálise de registos antigos da estação COI.

Agradecimentos: Trabalho financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), através do projecto estratégico UID/Multi/00611/2020 atribuído ao CITEUC - Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra e do FEDER – Fundo de Desenvolvimento Regional Europeu através do COMPETE 2020 – Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização (projeto: POCI-01-0145-FEDER-006922). Os autores agradecem ao Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra a cedência dos dados sísmicos e magnéticos utilizados neste trabalho.

Referências

- Custódio, S., Battló, J., Martins, D., Antunes, F., Narciso, J., Carvalho, S., Lima, V., Lopes, F.C., Ribeiro, P., Sleeman, R., Alves, E.I. & Gomes, C.R. (2012). Station COI: dusting off an Old Seismic Station. *Seismological Research Letters, Historical Seismologist*, 83, 863-869. doi: 10.1785/0220120014.
- Ivanov, K.G. (1961). Geomagnetic effects that were observed at the Irkutsk Magnetographic Observatory after the explosion of the Tunguska meteorite. *Meteoritika*, 21, 46-48.
- Ivanov, K.G. (1964). The geomagnetic effect of the Tunguska fall. *Meteoritika*, 24, 141-15 (em russo).
- Johnston, C.O. & Stern, E.C. (2019). A model for thermal radiation from the Tunguska airburst. *Icarus*, 327, 48-59.
- Pasechnik, I.P. (1976). Estimation of parameters of the Tunguska meteorite explosion from seismic and microbarographic data. *Cosmic Matter on the Earth*, 24-54 Novosibirsk: Nauka.
- Ribeiro, P., Martins, D., Battló, J., Narciso, J., Custódio, S., Lopes, F.C. & Gomes, C.R. (2011). Jacinto de Sousa e a Criação do Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra. *Congresso Luso-Brasileiro de História das Ciências, Livro de Actas (ISBN: 978-989-26-0122-9): 1259-1273. Univ. Coimbra, 26-29 de Outubro de 2011.*
- Rubtsov, V., (2012). Reconstruction of the Tunguska Event of 1908: neither an asteroid, nor a comet core. *arXiv preprint arXiv, 1302.6273.*
- Turco, R.P., Toon, O.B., Park, C., Whitten, R.C., Pollack, J.B., & Noerdlinger, P. (1982). An analysis of the physical, chemical, optical, and historical impacts of the 1908 Tunguska meteor fall, *Icarus*, 50, 1-52.
- Zhuravlev, V.K. (1998). The geomagnetic effect of the Tunguska explosion and the technogeneous hypothesis of the TSB origin. *RIAP Bulletin*, 4, 3-10
- Zolotov, A.V. (1967). On energy concentration of the explosion of the Tunguska space body. *Zhurnal Tekhnicheskoy Fiziki*, XXXVII (11), 2089-2094 (in Russian).
- Zolotov, A.V. (1969). The Problem of the Tunguska Catastrophe of 1908. *Minsk: Nauka i Tekhnika (in Russian).*

Exames sob pressão: análise das questões sobre metamorfismo e rochas metamórficas nos Exames Finais Nacionais de Biologia e Geologia

Exams under pressure: analysis of the impact of metamorphism and metamorphic rocks questions in the Biology and Geology National Final Exams

C. Marques (1), C. Barata (2), D. Soares (3), A. Gomes (2), F. C. Lopes (2), I. Abrantes (4), B. Lopes (3), E. M. C. Gomes (2) e P. Callapez (2)

- (1) Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Departamento de Ciências da Terra, carlamarques.uc@gmail.com
- (2) Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Departamento de Ciências da Terra
- (3) Universidade de Aveiro, Centro de Investigação Didática e Tecnologia Educativa na Formação de Formadores, Departamento de Educação e Psicologia
- (4) Universidade de Coimbra, Centre for Functional Ecology - Science for People & the Planet, Departamento de Ciências da Vida

Summary: *The conclusion of the Biology and Geology (BG) biennial subject implies a national final exam (EFN – Exame Final Nacional) in year 11 of high school, which also constitutes a requirement of access to higher education (College degree). The aim of this study is to understand the value assigned to the subject matter “Metamorphism and metamorphosed rocks”, included in the Essential Learning of years 10 and 11, and in the EFN of BG (2006 to 2021), with the aim of planning strategies/resources that promote meaningful learning of this subject matter. Geology questions of 32 EFN, from the first and second phase, were analysed - quantifying those related to the subject under study and assessing the questions' typology.*

Key words: *Curricular Programmes; Evaluation; Geology; Final National Exams; Metamorphism*

Palavras-chave: Avaliação, Exames Finais Nacionais, Geologia, Metamorfismo, Programas Curriculares

Em Portugal, os exames finais nacionais (EFN), enquanto instrumentos certificadores das aprendizagens, têm uma longa tradição no sistema educativo. Estes instrumentos de avaliação externa e respetivos critérios de correção são elaborados pelo Instituto de Avaliação Educativa, I.P. (IAVE), desde 2013, ano em que sucedeu ao Gabinete de Avaliação Educacional (GAVE) (IAVE, 2023). Os EFN, regulamentados pelo Decreto-Lei n.º 55/2018 de 6 de junho, são realizados, desde 1993, no final do ensino secundário a diversas disciplinas, com a pretensão de classificar, orientar e regular as aprendizagens do aluno, para além de serem aplicados como principal método de seleção no acesso ao ensino superior. Servem, também, como instrumentos de gestão ao nível da política educativa, no sentido de verificar o cumprimento do currículo e autoavaliar o sistema educativo. Recorre-se, assim, a um instrumento de avaliação nacional, como noutros países da UE, apesar da grande discórdia pública quanto ao seu contributo na melhoria das aprendizagens (IAVE, 2023; Fernandes, 2007; Sousa, 2012).

O EFN da disciplina bienal “Biologia e Geologia” (BG), prova 702, é realizado no 11.º ano de escolaridade, tendo como referência os documentos normativos em vigor à época. Atualmente, a prova é realizada tendo como referência o “Perfil dos Alunos à Saída da

Escolaridade Obrigatória” e as “Aprendizagens Essenciais” (AE) de BG para o 10.º e 11.º anos, por todos os alunos que pretendam concluir essa disciplina e/ou seguir estudos universitários, onde esta se apresenta como prova de ingresso. Dada a importância destas provas no percurso escolar dos alunos, assiste-se muitas vezes ao condicionar das estratégias de ensino e aprendizagem usadas em sala de aula, no sentido de preparar os alunos para a sua realização (Lopes & Precioso, 2021).

Neste estudo, pretendeu-se verificar o peso atribuído à temática “*metamorfismo e rochas metamórficas*”, incluída nas AE do 10.º e 11.º anos, nos EFN ao longo do tempo, com o objetivo de definir estratégias/recursos que promovam aprendizagens significativas desta temática. Assim, procedeu-se à análise das questões de Geologia de 32 EFN (2006-2021), aplicados na 1.ª e 2.ª fases da prova, para quantificar o número de questões na temática “*metamorfismo e rochas metamórficas*” e avaliar a tipologia dessas questões, de modo a perceber a importância do tema no contexto dos EFN e o modo como é avaliado. Desta análise foi possível constatar que a maioria dos exames continha 4 grupos de questões, compostos por 7 a 9 questões cada um, o que perfaz um total de 493 questões sobre Geologia. Destas, 42 (8,5%) avaliam conteúdos relacionados com

o tema em estudo, 24 integram provas da 1.ª fase e as outras 18 provas da 2.ª fase. Verificou-se que, dos 32 EFN, apenas 4 da 1.ª fase (2006, 2007, 2014 e 2021) e 7 da 2.ª fase (2006, 2007, 2008, 2011, 2013, 2017 e 2019) não incluem nenhuma questão relacionada com esta temática (Fig. 1). Nos restantes exames, encontra-se no mínimo 1 questão (2011, 2014, 2017) e, no máximo, 5 (2013), ou seja, uma média de 2 nos EFN da 1.ª fase e de 1 nos EFN da 2.ª fase. A presença destas questões abrange 66% dos exames realizados. Analisando a percentagem de questões sobre metamorfismo e rochas metamórficas relativamente ao total de questões de Geologia, por EFN, é possível verificar, para a 1.ª fase que, no mínimo, estas questões têm uma representação de 5,0% (2020), e no máximo 33,3% (2013), representando, em média, 9,6% das questões incluídas nas provas. Quanto à 2.ª fase, verifica-se um valor mínimo de 5,9% (2006) e um valor máximo de 20,0% (2009) das questões incluídas, ou seja, um valor médio de 7,4%, ligeiramente abaixo do registado na 1.ª fase. Quanto à tipologia das questões sobre metamorfismo e rochas metamórficas incluídas nos EFN, as questões de escolha múltipla predominam (61,4%), tanto nas provas da 1.ª fase (34,1%) como nas da 2.ª fase (27,3%). Seguem-se as

questões de associação por seleção, com 15,9%, enquanto as de resposta restrita, associação por complemento, ordenação e verdadeiro ou falso têm uma frequência residual.

Apesar das questões sobre “*metamorfismo e rochas metamórficas*” perfazerem apenas 8,5% das de Geologia incluídas em todos os exames, uma análise mais detalhada revela que este tema ainda apresenta um peso considerável nos EFN, entre 5% a 33,3% do número de questões incluídas por prova, encontrando-se em 66% dos exames analisados. Apesar de existir uma grande variedade quanto à tipologia, a maioria das questões são de escolha múltipla, o que está de acordo com o tipo de prova, onde são estas as questões que predominam. Tal facto permite-nos concluir que, apesar do número de questões sobre “*metamorfismo e rochas metamórficas*” não ser muito elevado, encontramos-las na maioria dos exames, o que sublinha a importância dada a esta temática nos EFN e determina a relevância de zelar por estratégias de ensino focadas nesta temática, de modo a promover aprendizagens significativas e logo o sucesso dos estudantes nos EFN de BG.

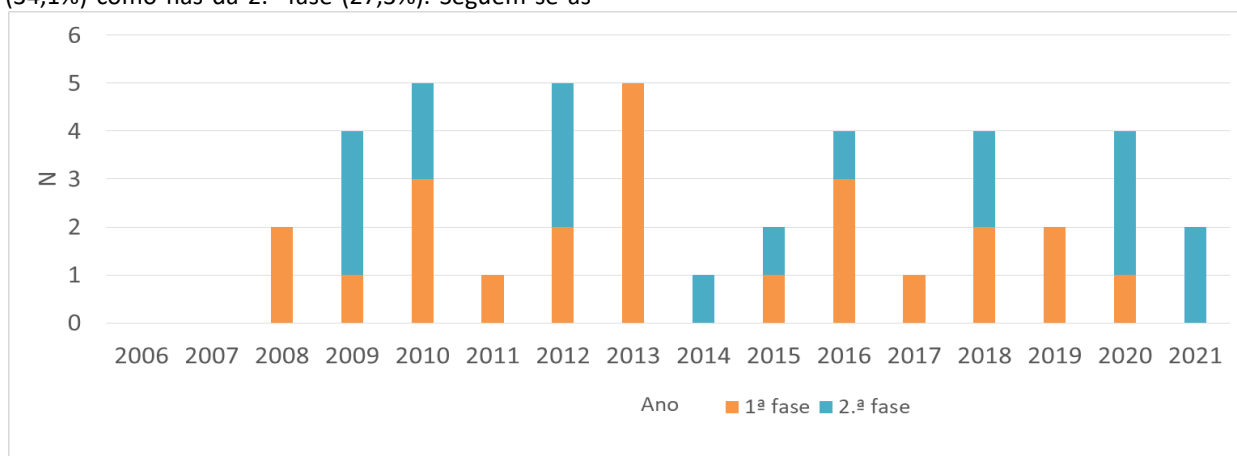


Fig. 1. Distribuição das questões sobre metamorfismo e rochas metamórficas nos exames finais nacionais de Biologia e Geologia (2006-2021).

Agradecimentos: À FCT pelo apoio das Bolsas de Investigação UI/BD/151508/2021, de Carlos Barata, e SFRH/BD/148734/2019, de Carla Marques, dos projetos estratégicos UID/Multi/00611/2020 (CITEUC) e UIDB/04004/2020 (CFE) e do FEDER através do COMPETE 2020 (projeto: POCI-01-0145-FEDER-006922). Ao IAVE, pela disponibilização de dados sobre os resultados dos EFN de Biologia e Geologia, para as questões sobre rochas metamórficas.

Referências

- IAVE (2023). Quem Somos. IAVE - Instituto de Avaliação Educativa. Consultado a 30 Janeiro, 2023, de <https://iave.pt/o-iave/quem-somos/>
- Fernandes, D. (2007). A avaliação das aprendizagens no Sistema Educativo Português. *Educação e Pesquisa*, 33, 581-600.
- Sousa, H. (2012). Exames nacionais: instrumentos de regulação de boas práticas de ensino e de aprendizagem? In J. Karpicke, H. Sousa, & L. Almeida (eds.). *A avaliação dos alunos*. Fundação Francisco Manuel dos Santos, 41-69.
- Lopes, T., & Precioso, J. (2021). Insucesso de alunos e alunas no exame de Biologia e Geologia: estudo com professores. *Estudos em Avaliação Educacional*, 32, e06848.

RE)cristalização ou (NEO)cristalização. Conceitos em manuais escolares de Biologia e Geologia 11.º ano

(RE)crystallization or (NEO)crystallization. Concepts in textbooks of Biology and Geology 11th grade

C. Marques (1*), C. Barata (1), D. Soares (2), A. Gomes (1), F. C. Lopes (1), I. Abrantes (3), B. Lopes (2), E. M. C. Gomes (1) e P. Callapez (1)

- (1) Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Departamento de Ciências da Terra. *carlamarques.uc@gmail.com
- (2) Universidade de Aveiro, Centro de Investigação Didática e Tecnologia Educativa na Formação de Formadores, Departamento de Educação e Psicologia
- (3) Universidade de Coimbra, Centre for Functional Ecology - Science for People & the Planet, Departamento de Ciências da Vida

Summary: *Metamorphism is discussed in Biology and Geology year 11, as a process involving modifications in the mineral content/composition and/or microstructural of a rock, predominantly in the solid state. Considering that during this process, nucleation and growth of new minerals - neocrystallization - and of mineral phases already present- recrystallization - may occur, and the importance of textbooks as the most used educational resource, we pose the question: how is this topic presented in the Portuguese Geology year 11 textbooks? Three textbooks from 2022/23 school year and three from 2008/09 were analysed. It was noted that the 2008/09 textbooks only refer "recrystallization", while in 2022/23 textbooks, both processes are recognized. Even so, and despite a positive evolution in the 2022/23 textbooks, only one introduces the concept neocrystallization. Overall, the 2022/23 textbooks promote a better understanding of the processes that lead to the formation of metamorphic rocks.*

Key words: *Curricular programmes; Metamorphism; Neocrystallization; Recrystallization; Textbooks; High school*

Palavras-chave: Ensino secundário; Manuais escolares; Metamorfismo; Programas curriculares; Recristalização; Neocrystalização

O metamorfismo, temática incluída nas aprendizagens essenciais (AE) e no programa da disciplina de Biologia e Geologia (DBG) do 11.º ano de escolaridade, revogado pelas AE, refere os processos que envolvem modificações no conteúdo/composição mineral e/ou microestrutural de uma rocha, predominantemente no estado sólido. Traduz-se num ajustamento da rocha (protólito) a condições físicas diferentes das que existiam quando esta se formou e das que normalmente ocorrem à superfície da Terra e na zona da diagénese. Pode coexistir com fusão parcial e pode envolver modificações na composição química global da rocha (Fettes & Desmons, 2011). Durante o metamorfismo, os protólitos estão sujeitos a dois tipos principais de modificações: do conteúdo mineral e da textura. As primeiras implicam a cristalização de novas fases minerais, enquanto as segundas referem as mudanças texturais, sem modificação do conteúdo mineral. As duas podem ser independentes ou ocorrer em simultâneo. A nucleação e o crescimento de novas fases minerais, designadas por blastese ou neocrystalização, resultam de reações metamórficas no estado sólido. Os reagentes são minerais do protólito e os produtos da reação minerais da rocha metamórfica. Estas reações podem envolver uma ou

mais fases fluidas. Todavia, também pode ocorrer recristalização, isto é, nucleação e crescimento de fases minerais já existentes no protólito (normalmente monomineralico) (Vernon & Clarke, 2009). Esta distinção entre cristalização de novos minerais e recristalização, leva a questionar como é que esta temática é apresentada nos manuais escolares (ME) portugueses de Geologia do 11.º ano. Será que também se faz tal distinção?

Nas escolas portuguesas, o ME, continua a ter um papel preponderante no processo de ensino e aprendizagem, ao ser o recurso educativo mais utilizado por professores e alunos. Adapta-se a diferentes metodologias e estratégias disponibilizadas pelo professor, constituindo um recurso que pode modelar as aprendizagens realizadas pelos alunos (Torres *et al.*, 2015). Periodicamente, as escolas têm de selecionar e adotar ME, depois de avaliados e certificados por entidades reconhecidas pela Direção-Geral de Educação (DGE, 2023). Este procedimento pretende garantir a qualidade científica, pedagógica e didática deste recurso, assegurando a sua conformidade com os programas e orientações curriculares em vigor, e garantindo que constituem um apoio ao ensino e à promoção do sucesso educativo

(DGE, 2023). Na DBG do 11.º ano adotaram-se novos ME, no ano letivo 2022/23, que vieram substituir os que tinham entrado em vigor em 2008/09.

Tendo em conta estes princípios, pretende-se, através deste estudo, analisar a secção sobre “Metamorfismo e rochas metamórficas” em ME de Geologia do 11.º ano, para avaliar como são descritos os processos de formação de minerais em rochas metamórficas (cristalização, recristalização e/ou neocristalização), durante os dois períodos de vigência dos ME adotados, entre os anos letivos 2008/09 a 2022/23. Para tal, selecionaram-se como amostra os três ME de Geologia adotados em 2022/23 (ME_a, ME_b e ME_c) e os três, facultados pelas mesmas editoras, no ano letivo de 2008/09 (ME_d; ME_e e ME_f).

Optou-se por analisar o ME do professor em vez do ME do aluno, pelo facto do estudo incidir mais sobre a ótica do professor, enquanto agente que avalia as lacunas no cumprimento das orientações curriculares e superação das dificuldades evidenciadas pelos alunos. Para tal, levantaram-se todas as referências/definições dos conceitos - cristalização, recristalização e neocristalização - incluídas na secção em análise. Foi possível verificar que nos ME_d, ME_e e ME_f, ao longo de toda a secção analisada, apenas aparece a referência ao conceito “recristalização”. Este tanto aparece associado à explicação da ocorrência de nucleação e crescimento de fases minerais, já existentes no protólito, ou seja, recristalização, como à ocorrência de nucleação e crescimento de novos cristais, isto é, neocristalização. Assim, e ao contrário do que é aceite pela comunidade científica, os ME referidos não fazem distinção entre “recristalização” e “neocristalização”, como evidencia a seguinte transcrição do ME_e (2008): “...*Face a estas novas condições termodinâmicas, os materiais rochosos podem ser transformados, originando-se diferentes associações minerais, e/ou diferentes texturas, devido a novos arranjos de partículas, ocorrendo desta forma, processos de **recristalização***” (p.156).

Agradecimentos: À FCT pelo apoio das Bolsas de Investigação UI/BD/151508/2021, de Carlos Barata, e SFRH/BD/148734/2019, de Carla Marques, dos projetos estratégicos UID/Multi/00611/2020 (CITEUC) e UIDB/04004/2020 (CFE) e do FEDER através do COMPETE 2020 (projeto: POCI-01-0145-FEDER-006922).

Referências

- DGE (Direção-Geral da Educação), (2018). Aprendizagens Essenciais. Articulação com o perfil dos alunos. 11.º ano. Ensino Secundário. Biologia e Geologia. Direção-Geral da Educação, Lisboa.
- DGE (Direção-Geral da Educação), (2023). Manuais escolares. <https://www.dge.mec.pt/manuais-escolares>
- Fettes, D. & Desmons, J. (2011). A classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission of the Systematics of Metamorphic Rocks. Cambridge University Press.
- Torres, J., Almeida, A. & Vasconcelos, C. (2015). Questionamento em manuais escolares: um estudo no âmbito das Ciências Naturais. *Ciência & Educação (Bauru)*, 21, 655-671.
- Vernon, R. H. & Clarke, G. L. (2009). Principles of Metamorphic Petrology. Cambridge University Press.

Quanto aos ME adotados no presente ano letivo, foi possível constatar que o ME_a (2022) refere sempre o conceito “recristalização”, apesar de mencionar que “*O calor interno da geosfera fornece a energia necessária para as reações metamórficas de **recristalização** de minerais e/ou a **formação de novos minerais**, bem como para o seu crescimento*” (p. 126). Apesar de reconhecer que a formação de minerais em rochas metamórficas pode resultar de dois processos distintos, usa apenas o conceito “recristalização” para os definir.

O ME_b segue a mesma linha, utilizando só o conceito “recristalização”, apesar de referir o conceito “cristalização”, mas não com a intenção de distinguir processos de formação de minerais. O ME_c usa os conceitos “recristalização” e “neocristalização”, sendo o único ME que faz esta distinção. Assim, o ME_c (2022) define “**Recristalização**: Há mudanças no tamanho e na forma dos grãos de minerais sem que se altere a identidade do mineral” e “**Neocristalização ou reações metamórficas**: Formam-se novos minerais, diferentes dos existentes no protólito, com distinta estrutura cristalina, devido, por exemplo, a migração de átomos entre os minerais no estado sólido” (p. 125).

Posto isto, pode afirmar-se que se observa uma evolução positiva, na forma como se explica o processo de formação dos minerais em rochas metamórficas nos atuais ME, relativamente aos ME de 2008/09. Todos referem que pode ocorrer recristalização ou formação de novos minerais. No entanto, só um deles (ME_c) distingue a formação de minerais por recristalização da formação de novos minerais, usando a designação de neocristalização. No nosso entender, e dos autores do ME_c, esta clareza nos conceitos promove uma melhor compreensão dos processos que levam à formação das rochas metamórficas, cumprindo as indicações curriculares dadas pelas AE, “Explicar texturas e composições mineralógicas de rochas metamórficas com base nas suas condições de gênese” (DGE, 2018, p.10).

Censos Geológicos: uma imagem mais nítida da comunidade geológica portuguesa

Geological Census: a clearer image of the portuguese geological community

A. Nóbrega (1), M. Sousa (1,2), L. Lopes (1,2,3), P. Matos (1,4), G. P. Correia (1,5), M. Oliveira (1,6) e J. Santos (1,7)

- (1) Associação Portuguesa de Geólogos, anobrega@apegeologos.pt
- (2) Instituto de Ciências da Terra
- (3) Departamento de Geociências, Universidade de Évora
- (4) COMSA Portugal S.A.
- (5) Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra
- (6) SOMINCOR, S.A
- (7) Júlio Santos - Natural Stone Rocks!

Summary: *A Geological Census was developed by the Portuguese Association of Geologists to characterize the current state of the Portuguese community of geologists. This analysis intends to better understand the needs of this professional community and how it could have a more effective intervention in our society. Essentially, three dimensions were considered in this inquiry: academic education, job market and associative activity/membership. Although a thorough analysis of the Geological Census needs to be done, the first impressions support previous conclusions and highlight the importance of the establishment of a professional public association, bringing benefits not only to its professionals but also to the society.*

Key words: *geologist, professional situation, Portuguese geological community, APG, survey*

Palavras-chave: *geólogo, situação profissional, comunidade geológica portuguesa, APG, questionário*

A necessidade de regulamentação da profissão de geólogo e a intenção de criar uma associação profissional pública não é recente e tem sido um dos principais objetivos da Associação Portuguesa de Geólogos (APG), cujo cariz de Utilidade Pública foi reconhecido pelo Governo (Despacho nº 649/2015 de 22 de janeiro). As razões basilares deste desígnio prendem-se com: *i)* defesa dos interesses dos profissionais de geologia, enquadrados nos interesses mais gerais da sociedade e da ética profissional; *ii)* definição dos requisitos e qualificações profissionais, bem como dos atos profissionais; *iii)* verificação entre pares do cumprimento dos requisitos e atos profissionais; *iv)* reconhecimento das qualificações e requisitos profissionais em condições de reciprocidade com instituições análogas estrangeiras; *v)* necessidade de atualização técnico-científica face à evolução desta área do conhecimento; *vi)* necessidade de dispor e aplicar um código de princípios deontológicos e de dispositivos jurídico-disciplinares adequados à regulação da profissão e à defesa da independência do julgamento profissional; e, *vii)* benefícios nas dimensões económica e social possibilitados pelo conhecimento geológico e pela prática profissional (APG 1976; Romão *et al.*, 2017). De facto, a geologia e os geocientistas oferecem uma contribuição indispensável em vários aspetos do desenvolvimento sustentável e socioeconómico da Sociedade (*e.g.* abastecimento e gestão de água, energia e de matérias-primas minerais, gestão e manutenção dos solos agrícolas, adaptação e resposta às alterações

climáticas, ordenamento e planificação do uso do território, captação e armazenamento de gases com efeito de estufa, planificação, dimensionamento e construção de obras públicas e civis, etc.; Romão *et al.*, 2017). No entanto, a geologia só capta a atenção mediática quando ocorrem catástrofes naturais, como por exemplo o recente sismo na Turquia e Síria (USGS, 2023).

A proposta para uma Política Geológica Nacional ao serviço dos cidadãos, demonstrando a importância da profissão de geólogo/geocientista e o inerente benefício na criação de uma associação profissional pública foi sucessivamente apresentada pelas várias comissões diretivas da APG aos sucessivos Governos. Romão *et al.*, (2017) elencaram vinte propostas, que refletem os benefícios desta atividade profissional para o país e para os cidadãos, tendo por base o conhecimento geológico. Mais recentemente, uma comitiva da APG reuniu com o Ministro do Ambiente e da Ação Climática a quem entregou um memorando, atualizando e reforçando o papel dos geocientistas na Sociedade (Chaminé *et al.*, 2020). Para melhor sustentar a pretensão da criação de uma associação profissional pública, foram realizados dois estudos, um sobre a área profissional de Geologia em Portugal e outro sobre a componente formativa dos geólogos portugueses (Velooso *et al.*, 2011; Freire *et al.*, 2015 &). O primeiro foi encomendado pela APG no âmbito da iniciativa de criação de uma associação profissional pública e enquadrado nos termos da Lei nº 6/2008 de 13 de fevereiro (revogada em 2013, com a entrada em

vigor da Lei nº2/2013). Decorridos vários anos da publicação destes trabalhos e no sentido de obter uma imagem atualizada da comunidade profissional dos geocientistas portugueses, a APG lançou, em 2022, a iniciativa Censos Geológicos que permitiu caracterizar e ajudou a identificar as necessidades desta comunidade profissional e possibilitará uma intervenção mais eficaz destes profissionais na Sociedade. A análise considerou, essencialmente, as seguintes dimensões: formação, mercado de trabalho e associativismo.

Entende-se como comunidade geológica ou comunidade profissional de geólogos todos os que fizeram a sua formação académica na área das Geociências e não apenas aqueles que se licenciaram em Geologia, ou seja, também inclui os graduados em Ensino da Biologia e Geologia, Engenharia Geológica, Engenharia Geotécnica e Geoambiente, Engenharia de Minas, e respetivos estudantes universitários.

O questionário dos Censos Geológicos, divulgado em fevereiro de 2022, teve uma notável adesão. Das 989 pessoas que responderam ao questionário, 79,2% indicam que se encontram empregadas, 6,7% são estudantes, 5,4% estão desempregados, 3,8% são trabalhadores-estudantes, 2,2% estão reformados e 2,7% referem outra situação. No que diz respeito ao associativismo, apenas 27,9% dos participantes indicaram ser sócios da APG e 29,8% referem ser membros de outra associação científica, técnica ou profissional.

A análise preliminar dos Censos Geológicos 2022 revela que uma percentagem significativa (27,2%) dos participantes se encontra a exercer uma profissão fora da área de formação, sendo que quase metade nunca conseguiu trabalho na área em análise (Fig. 1). Embora sejam necessários mais dados que permitam perceber

de forma mais exata esta situação, este insucesso profissional poderá estar relacionado com a falta de conhecimento sobre o papel do geólogo na sociedade, por parte de vários empregadores (*i.e.*, autarquias, entidades governamentais e de gestão do território) e ainda com a crise no setor mineiro e da construção. Relativamente ao associativismo não foram referidos os motivos das baixas percentagens identificadas no inquérito. No que diz respeito ao título de Eurogeólogo, apenas 3,2% dos inquiridos são detentores do título o que pode ser justificado pela obrigatoriedade em pertencer a uma associação membro da Federação Europeia de Geólogos e à falta de promoção mais generalizada do título profissional e à perceção, por parte dos possíveis interessados, de que o processo de candidatura é moroso e complexo. Face a estes resultados, conclui-se ser necessária uma grande reflexão da comunidade geológica sobre o que muda ao nível da divulgação da importância das geociências e dos seus profissionais para a sociedade, para acabar com este paradigma. Torna-se evidente a necessidade de manter a aposta na regulamentação da profissão, tornando-a mais atrativa e segura para os seus profissionais e confiável, em todas as suas dimensões, para a sociedade.

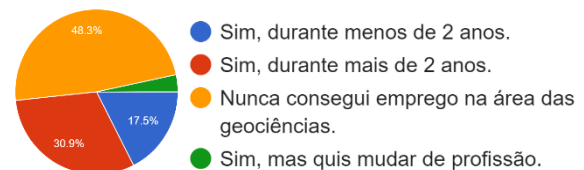


Fig. 1. Distribuição percentual das 269 respostas obtidas na pergunta "Se trabalha numa área não relacionada com as Geociências, alguma vez conseguiu emprego na área das Geociências".

Agradecimentos: A APG agradece a todos os colegas que responderam ao questionário dos Censos Geológicos.

Referências

APG (1976). Estatutos da Associação Portuguesa de Geólogos.

https://www.apgeologos.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=122.

Chaminé, H.; Baptista, R.; Brilha, J.; Duarte, J., Carvalho, J. M.; Correia, V.; Esperancinha, S.; Fernandes, I.; Guerner Dias, A.; Lopes, L.; Matos, P.; Nunes, J. C.; Oliveira, M.; Pereira, A., Pinto de Jesus, A.; Plasencia, N.; (2020). Memorado - Da APG a um novo paradigma, a "Ordem dos Geólogos". Associação Portuguesa de Geólogos. Relatório não publicado, 11p. <http://hdl.handle.net/10174/34144>

Freire, J., Pacheco, P., Veloso, L., Rego, R. & Clamote, T. (2015). A formação dos geólogos: o papel das universidades na configuração do campo profissional. *Análise Social*, 215, I (2.ª), Instituto de Ciências Sociais da Universidade de Lisboa, 226-255.

Romão, J., Correia, V., Castelo Branco, J.M., Pereira, A., Sousa, M., Carvalho, P. & Silva, M. (2017). 20 Propostas para uma Política Geológica Nacional ao serviço dos cidadãos. *GEONOVAS*, 30, 03-09.

Veloso, L., Freire J., Oliveira, L., Lopes, N., Rego, R., Pacheco P. & Clamote T. (2011). O Campo Profissional da Geologia em Portugal – Relatório Final Centro de Investigação e Estudos de Sociologia, ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa, 188 pp.

USGS (2023). Magnitude 7.8 Earthquake in Nurdagi, Turkey. <https://www.usgs.gov/news/featured-story/magnitude-78-earthquake-nurdagi-turkey>, consultado em 8 de fevereiro de 2023.

Exploring Out-of-school education through Iberian cooperation at Lower Cretaceous sites of Portugal and Spain

Explorando a educação fora da escola através da cooperação ibérica em locais do Cretácico Inferior de Portugal e Espanha

S. Ozkaya de Juanas (1,2), F. Barroso-Barcenilla (2,3), M. Berrocal-Casero (2,3), P.M. Callapez (1,2), R. Pimentel (1,4), V.F. dos Santos (2,5) and M. Segura (2)

- (1) Departamento de Ciências da Terra (Centro de Investigação da Terra e do Espaço), Universidade de Coimbra, 3030-790 Coimbra, Portugal. sjuanas@student.dct.uc.pt
- (2) Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente (Grupo de Investigación Paleolbérica), Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, España-Spain.
- (3) Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología (Grupo de Investigación Procesos Bióticos Mesozoicos), Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, España-Spain.
- (4) GEOBIOTEC, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal.
- (5) Departamento de Geologia (Instituto D. Luís), Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa, Portugal.

Sumário: *As bacias mesozoicas da Península Ibérica albergam um importante registo estratigráfico e paleontológico, incluindo sequências cretácicas que ilustram a geodiversidade e momentos da evolução biótica. Em contexto de cooperação ibérica e com o objetivo de desenvolver a aprendizagem fora das salas de aula, foram selecionados geossítios do Cretácico Inferior de Portugal e Espanha, tendo como premissa os seus contextos geológicos análogos, a relevância científica e o potencial didático. Neste trabalho são apresentadas estratégias destinadas a implementar ações educacionais formais e não formais, bem como a promover outras iniciativas didáticas, e a incentivar a proteção destes geossítios.*

Palavras-chave: *Didática, Geoeducação, Divulgação, Paleontologia, Fósseis*

Key words: Didactics, Geoeducation, Outreach, Palaeontology, Fossils

The Mesozoic sedimentary basins of Iberia are known to yield a rich stratigraphic and palaeontological record, where outstanding Cretaceous sites illustrate the diversity of the evolution of life during this period of Earth History. Through this exceptional working basis, with interesting rocks and fossils, and extraordinary museological and scientific collections, the palaeontological objectives and methods can be shown, facilitating to understand the importance and scope of Palaeontology.

Aiming to progress in the field of Out-of-school learning throughout a context of Iberian cooperation, specific Lower Cretaceous sites from Portugal and Spain have been selected due to their analogous geological contexts, scientific relevance, and didactic potential (Ozkaya de Juanas et al., 2023). These are the palaeontological sites of Salema (lower Barremian of the Algarve Basin: Santos et al., 2013) and Parede (upper Albian of the Western Meso-Cenozoic Portuguese Basin: Santos et al., 2015) in Portugal, and Hoces de Beteta (upper Barremian of the Iberian Basin: Barroso-Barcenilla et al., 2017) in Spain (Fig. 1).

The fossil content studied at these sites include plants (charophytes, palynomorphs, macroremains...), invertebrate specimens (scleractinian corals, brachiopods, bivalves, gastropods, cephalopods,

echinoderms, crustaceans...), and vertebrate remains (fishes, turtles, crocodyliforms, dinosaurs...), along with indirect evidence, such as bioturbations and vertebrate tracks (mainly corresponding to ornithopod and sauropod dinosaurs).

Up to date, several outreach initiatives have already been developed at these Lower Cretaceous sites. Multiple educational actions have been carried out at the Salema and Parede tracksites, such as school field trips and guided visits for general public. In the same way, to show the scientific and social importance of the Hoces de Beteta site, each year it is celebrated in small towns located close to the outcrops the "Palaeontological Days", where children of local rural schools participate at didactic workshops, and adults can attend scientific conferences.

To complement these initiatives, a series of didactic sessions are being designed based on Out-of-school learning strategies in order to develop geoscientific skills, as well as meaningful learning experiences towards Natural Science in general and Palaeontology in particular. These sessions have been grouped into a didactic project, which can be carried out at formal and non-formal educational contexts in which various sessions are needed.

The first session will aim to reduce novelty space and serve as an introduction into Palaeontology as a scientific discipline and general concepts regarding History of Earth and Life. Following sessions involve the Jigsaw Classroom Technique as a cooperative learning approach (Aronson et al., 1978), where pupils must determine what kind of vertebrate fauna can be found based on fossil samples from the Hoces de Beteta site (e.g., dermal armour of an anquilosaur). Then, sessions involve the observation of the ichnites of the Salema and Parede tracksites, relating the trackways with the fauna previously determined from the Hoces de Beteta site. Moreover, other sessions are dedicated to the relevance of the study of plant remains and invertebrate fossils to infer, along with

the corresponding lithologies, palaeoenvironmental issues. This project culminates with a field trip to these Lower Cretaceous tracksites, and an evaluation, where pupils are asked to create informative panels. In order to expose them as an outreach resource in regards of Natural Heritage awareness of these sites and other natural environments, which are located in areas highly exposed to anthropic pressure.

During the sessions, qualitative and quantitative feedback tools will be applied. The positive outcome of this project will allow to apply Out-of-school learning in a context of Iberian cooperation, as well as to promote other initiatives towards the protection of these and other potential geosites.



Fig. 1. Map of the Iberian Peninsula, with the location and images of the Lower Cretaceous palaeontological sites of Salema (lower Barremian of the Algarve Basin, Portugal), Parede (upper Albian of the Western Meso-Cenozoic Portuguese Basin, Portugal), and Hoces de Beteta (upper Barremian of the Iberian Basin, Spain), with silhouettes of some of the most characteristic dinosaurs identified in these sites.

Acknowledgements: Contracts UI/BD/150971/2021 of CITEUC and FCT (Portugal) and Margarita Salas of UCM CT31/21 (Spain), and the Research Project SBPLY/21/180501/000242 of the Junta de Castilla-La Mancha and the Universidad de Alcalá (Spain).

References

- Aronson, E., Blaney, N., Stephan, C., Sikes, J. & Snapp, M. (1978). *The Jigsaw Classroom*. Beverly Hills, Sage.
- Barroso-Barcenilla, F., Berrocal-Casero, M., Blain, H.A., Callapez, P.M., Cambra-Moo, O., et al. (2017). Geological and Palaeontological context of three new Barremian (Lower Cretaceous) vertebrate sites in the Iberian Peninsula (Cuenca Province, Central Spain). *Proceedings of the Geologists' Association*, 128, 256-270.
- Ozkaya de Juanas, S., Barroso-Barcenilla, F., Berrocal-Casero, M. & Callapez, P.M. (2023). Virtual Fossils for Widening Geoeducation Approaches: A Case Study Based on the Cretaceous Sites of Figueira da Foz (Portugal) and Tamajón (Spain). *Geosciences*, 13, 16.
- Santos, V.F. dos, Callapez, P.M. & Rodrigues, N.P.C. (2013). Dinosaur footprints from the Lower Cretaceous of the Algarve Basin (Portugal): new data on the ornithopod palaeoecology and palaeobiogeography of the Iberian Peninsula. *Cretaceous Research*, 40, 158-169.
- Santos, V.F. dos, Callapez, P.M., Castanera, D., Barroso-Barcenilla, F., Rodrigues, N.P.C. & Cupeto, C.A. (2015). Dinosaur tracks from the Early Cretaceous (Albian) of Parede (Cascais, Portugal): new contributions for the sauropod Palaeobiology of the Iberian Peninsula. *Journal of Iberian Geology*, 41, 155-166.

APG 365: pelo registo e união da comunidade geológica portuguesa

APG 365: for a portfolio and union of the Portuguese geological community

I. Pereira (1), S. Pereira (1), C. Marques da Silva (2,3), A. Cravinho (2), J. Ferreira (4),
M. Sousa (5, 6), A. Nóbrega (5) e L. Lopes (5,6,7)

- (1) Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, ines.pereira@dct.uc.pt
- (2) Instituto Dom Luíz, Universidade de Lisboa
- (3) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- (4) Renato Azenha Lda., Sintra
- (5) Associação Portuguesa de Geólogos
- (6) Instituto de Ciências da Terra
- (7) Departamento de Geociências, Universidade de Évora

Summary: *The Portuguese geological community exhibits low levels of engagement with their national representatives, and overall shows a diminished professional team spirit. To revert this situation, while at the same time promoting geosciences and geoscience professionals, an initiative named APG 365 was developed. This initiative includes a physical calendar illustrating 12 personalities in the geosciences, and a website, where the interviews to those professionals are made available. The engagement of the geosciences professionals with this initiative is considerable and it has renewed their overall interest in the Portuguese Association of Geologists, who promotes it, bringing together the geological community.*

Key words: *Portfolio, calendar, interview, geological community, geologists*

Palavras-chave: Portefólio, calendário, entrevista, comunidade geológica, geólogos

Recentemente, Luz *et al.* (*in press*) revelaram que 63% dos participantes no inquérito “A situação do emprego em Geociências em Portugal (2020)”, com formação superior nas áreas das geociências, sentiam que não estavam integrados numa classe profissional unida. Os resultados deste inquérito demonstraram, ainda, a existência de um baixo associativismo entre estes profissionais: 70% admitiram não pertencerem a qualquer sociedade da área, ainda que destes, 75% já tivessem participado em atividades da Associação Portuguesa dos Geólogos (APG) ou da Sociedade Geológica de Portugal (SGP). Estes resultados são semelhantes aos de um estudo anterior (Velo *et al.* 2011), confirmando a persistência da alienação dos “geolicenciados” relativamente a estas entidades. Os motivos por detrás do baixo associativismo não foram investigados, mas é de salientar que 53% dos inquiridos no estudo têm emprego na área de formação (Luz *et al.*, *in press*). Existem, portanto, profissionais em geociências que não se encontram ligados a nenhuma associação portuguesa ou internacional, seja ela de cariz profissional ou científico. Para reverter esta situação, Luz *et al.* (*in press*) sugeriram maior presença nos meios de comunicação social, redes sociais e outro tipo de fóruns públicos, bem como a implementação de atividades de aproximação e cooperação entre as associações, a academia, estudantes e profissionais do meio empresarial/industrial.

Com o intuito de unir a classe de profissionais afetos à área das geociências, surge a iniciativa “APG 365”, promovida pela APG, que pretende dar a conhecer rostos e percursos de vida daqueles que fazem parte desta classe profissional e, simultaneamente, angariar fundos para financiar atividades dedicadas à formação de alunos na área da geologia.

O APG 365 está materializado num calendário físico (Fig. 1) e é complementado com um website (www.apg365.pt), onde são divulgadas mensalmente as entrevistas realizadas.



Fig. 1. Combinação das capas das edições de 2022 e 2023 do calendário APG 365 onde constam os retratos das 12 personalidades entrevistadas em cada edição.

Deste modo, a iniciativa tem também o intuito de criar um registo ou portefólio das pessoas que compõem a

comunidade geológica portuguesa. Com duas edições (2022 e 2023), o APG 365 conta já com 24 registos. No website estão disponíveis todas as informações relativas à iniciativa, uma loja online e informação sobre pontos de venda físicos.

As geociências integram várias áreas fundamentais para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) definidos pela ONU, pelo que dar a conhecer a intervenção destes profissionais na sociedade é crucial. Nesse sentido, o calendário APG 365 integra diversos tipos de informação, nomeadamente uma mini nota biográfica da pessoa que ilustra cada mês, a sua área de atuação, curiosidades variadas e datas geologicamente interessantes (Fig. 2). Por sua vez, as entrevistas enfocam a “história geológica” de cada geoprofissional, desde as suas motivações para a profissão que escolheu, até à sua área profissional de atuação. Além da sensibilização para o impacto destas áreas ao nível de prioridades atuais, como o desenvolvimento sustentável e a transição energética, de forma empática, a iniciativa APG 365 procura diminuir a alienação entre profissionais e estudantes do ensino superior e a APG, quer através do apoio/patrocínio de atividades direcionadas para

estudantes, quer pela partilha das histórias profissionais dos seus sócios.

O impacto da iniciativa pode ser medido através de alguns indicadores: o número de visitas ao website, de visualizações dos vídeos disponibilizados no YouTube (*teasers* das entrevistas) e de vendas do calendário (Tabela I). As interações nas redes sociais da APG também permitem monitorizar o seu desempenho.

Tabela I. Indicadores do impacto do APG 365, tendo por base o dia 30 de janeiro de 2023.

Métrica	Número
Visitas ao site <i>apg365.pt</i>	12.750
Visualizações de vídeos (YouTube)	5.895
Vendas dos calendários (22 e 23)	440

Atendendo ao número de interações com publicações do APG 365, visitas ao website e de exemplares vendidos, concluímos que a presente iniciativa consegue cumprir os objetivos a que se propôs. Deste modo, o APG 365 concedeu o primeiro apoio a uma atividade direcionada para estudantes, um curso de campo a ser realizado em 2023 pelo Centro Ciência Viva de Estremoz, que irá dinamizar o envolvimento dos estudantes universitários com a APG.

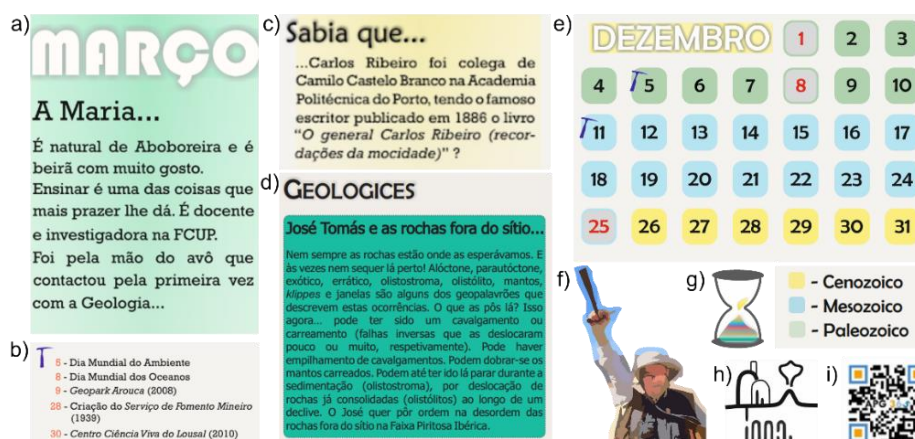


Fig. 2. Elementos que ilustram o calendário APG 365 (2022 e 2023); a) Pequena introdução ao geólogo do mês (e.g., Maria dos Anjos Ribeiro); b) “Marteladas”, que correspondem a datas de geointerese; c) “Sabia que”, geoconteúdo que em 2023 passou a d) “Geologices”, pequenas curiosidades sobre temas abordados pelos entrevistados; e) exemplo do grafismo do calendário de 2023, cujo tema são as Eras à escala do calendário civil; f) o símbolo do Dia do Geólogo, criado a partir de uma fotografia da entrevista ao geólogo António Ribeiro; g) uma ampulheta “estratigráfica”, que nos ajuda a assinalar os aniversários dos geólogos convidados; h) logo de cada área representada pelos profissionais (e.g., geotermia); i) código QR para ligação entre as duas componentes (calendário físico e website) da iniciativa.

Agradecimentos: Agradecemos aos patrocinadores da iniciativa APG 365: ALS Limited, Triáguas – sondagens e captação de água e Geoalgar – Consultoria em Geotecnia, Hidrogeologia e Ambiente. Em memória de um nome maior da hidrogeologia portuguesa, o nosso *gentleman* José Martins Carvalho (1943 – 2023), entrevistado em destaque no mês de dezembro de 2022.

Referências

- Luz, F., Pereira, I., Maia, M., Leal, S., Pereira, R., Roseiro, J., Casação, J., São Pedro, D., Moreira, N. (*in press*). Análise sobre empregabilidade e associativismo nas áreas das Geociências em Portugal. *Geonovas* nº 34, Associação Portuguesa de Geólogos, Lisboa.
- Veloso, L., Freire, J., Oliveira, L., Lopes, N. Rego, R., Pacheco, P., Clamote, T. (2011). O Campo Profissional da Geologia em Portugal. Relatório Final. Centro de Investigação e Estudos de Sociologia, ISCTE-IUL, 188.

Uma janela educativa para o Oceano Jurássico - O Planalto do Escarpão

An educational window overlooking a Jurassic Ocean - The Escarpão Plateau

S. Oliveira (1*), C. Veiga-Pires (1,2), D. Moura (1) e L. Pereira (3)

- (1) CIMA, Centre of Marine and Environmental Research\ARNET - Infrastructure Network in Aquatic Research, University of Algarve, Campus de Gambelas, 8000-139 Faro, Portugal, *saoliveira@ualg.pt
 (2) aUGGp Algarvensis,

Summary: *The Escarpão Plateau, offers the possibility to observe and study the most complete sedimentary sequence of the Upper Jurassic of the Eastern Algarve (161,2 to 145,5 million years) and bears witness to the carbonate ramp deposition of tepid waters of the Tethys domain, when present day Europe was still a mere set of islands. How should this type of geosite be promoted? The Algarvensis aspiring geopark created an 8 km walk path across the Escarpão Plateau passing through 11 points of interest, including biosites and geosites. This walking path was then transformed into digital via a Storymap that allows to dynamically tell a story based on geography by combining maps with text and other multimedia content. These applications are increasingly used for scientific dissemination, as well as an educational tool in a wide range of themes. This digital educational resource can be used to explore the geosite during the walk, as well as in the context of a virtual field trip in a classroom context.*

Key words: *Aspiring Geopark Algarvensis, Escarpão Plateau, Jurassic, Geosite, Geosciences*

Palavras-chave: *Aspirante Geoparque Algarvensis, Planalto do Escarpão, Jurássico, Geossítio, Geociências*

Situado na região mais a sudoeste da Europa, o aspirante a Geoparque Mundial da Unesco Algarvensis (aUGGp Algarvensis) é um território identitário e inspirador que visa contribuir para uma maior coesão social e territorial dos concelhos de Loulé, Silves e Albufeira, através de uma política de valorização do território, baseada no conceito de Geoparque UNESCO, com o apoio da Universidade do Algarve.

O aUGGp Algarvensis possui um património geológico de relevo internacional e nacional sobre uma área territorial com cerca de 1381 km², e pertencente a três concelhos do Algarve central. O Projeto coliderado pela Universidade do Algarve e o Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA|Arnet-Ualg) alia uma estratégia de geoconservação e um conjunto de políticas de educação e sensibilização ambiental, à promoção de um desenvolvimento socioeconómico sustentável baseado em atividades de geoturismo, envolvendo as comunidades locais e contribuindo para a valorização e promoção dos produtos locais. Esta estratégia de desenvolvimento sustentável conjugada à geologia da região permitiu definir os limites do aUGGp Algarvensis, formando um território coeso que não se estende até ao mar e que tem 48,8 % da sua área constituída por freguesias consideradas com baixa densidade populacional.

O seu território e as suas paisagens cromáticas são os testemunhos de uma história geológica que conta o

nascimento e aplanamento de cadeias montanhosas (Pérmico e Triásico) e mares antigos (Carbonífero e Jurássico), e se estende desde muito antes dos continentes terem a sua configuração atual, ou

mesmo dos dinossauros existirem, até aos dias de hoje (Quaternário).

As paisagens superficiais e subterrâneas do território do aUGGp Algarvensis escondem uma grande geodiversidade de geossítios, cujo levantamento e inventariação ainda se encontram em curso.

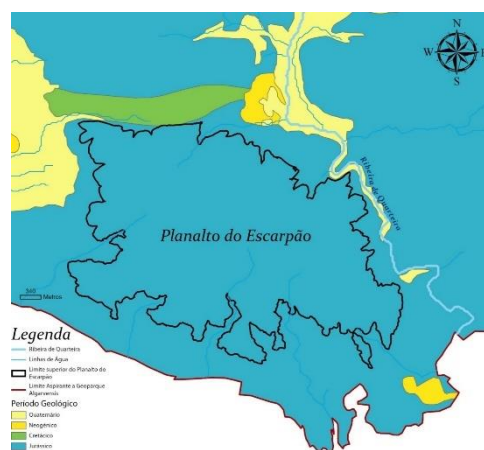


Fig. 1. Localização e limite superior do Planalto do Escarpão.

Neste trabalho destacamos o Geossítio Planalto do Escarpão, que oferece a possibilidade de observar e estudar a mais completa sequência sedimentar do Jurássico Superior do Sotavento Algarvio (163,5 a 145 milhões de anos). Cinco formações geológicas descritas por Ramalho (2015), estão expostas ao longo do Planalto do Escarpão, desde a mais antiga no fundo do vale da Ribeira de Quarteira, até à mais recente no topo: Formação Peral, Formação Jordana, Formação Cerro da Cabeça, Formação Escarpão e Formação

Calcária com *Anchispirocyclus lusitanica* (foraminíferos). Juntas, testemunham a deposição de uma rampa carbonatada de águas tépidas do domínio de Tethys, quando a Europa de hoje ainda era um mero conjunto de ilhas. Ao longo do Período Quaternário, os processos cársicos moldaram uma paisagem de solos escassos e pobres na qual sucessivas gerações souberam adaptar a sua agricultura de subsistência e o seu modo de vida (Moura e Oliveira, 2022).

Mas como deve ser promovido este tipo de geossítio? O aUGGp Algarvensis optou por criar vários percursos pedestres, entre eles, um caminho de 8 km que percorre o Planalto do Escarpão passando por 11 pontos de interesse relacionados não só com a geodiversidade, mas também com a biodiversidade e o património cultural e histórico circundante.

Este percurso teve como objetivo dar a conhecer este território à comunidade e aos turistas, mas também às crianças da região devido ao seu elevado potencial educativo na abordagem a várias temáticas abordadas nos programas educativos atuais.

No entanto, graças aos avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas, temos assistido à utilização crescente de ferramentas digitais nas salas de aula com objetivos diversificar e inovar as aprendizagens (Almeida, 2018). Estas conciliadas com a aposta na disponibilização gratuita de dados geográficos internacionais, nacionais e municipais permite a utilização e processamento em programas de ambiente Sistema de Informação Geográfica (SIG). Estes dados estão disponibilizados através de Geoportais que são portais para recursos geoespaciais baseados na Internet, permitindo aos utilizadores descobrir, visualizar e aceder a informação e serviços geoespaciais disponibilizados pelas mais diversas organizações. A partir destes dados existem ilimitadas opções de análise por parte dos utilizadores, incluindo alunos e professores, tais como a elaboração de mapas, modelos em 3D e outras aplicações.

Um dos exemplos de atividades práticas que podem ser utilizadas é o desenvolvimento de storymaps, baseadas em aplicações web que permitem de uma forma dinâmica contar uma história baseada na geografia através da combinação de mapas com texto e outros conteúdos multimédia. Estas aplicações são cada vez mais utilizadas na divulgação científica, bem como ferramenta educativa no âmbito das mais variadas temáticas. Assim, no contexto do projeto do aUGGp Algarvensis foi desenvolvido um Storymap intitulado “Um mergulho pelo mar do Jurássico”, referente ao Percurso Pedestre PR4 – Planalto do Escarpão (Oliveira, 2021), em que é contada a história desta entidade geomorfológica e são apresentadas sugestões de como é possível explorá-la em vários locais ao longo desse percurso. Este recurso educativo digital pode ser usado para explorar o geossítio durante a realização do percurso pedestre, bem como no âmbito de uma saída de campo virtual em contexto de sala de aula.

A avaliação da implementação do percurso ainda não foi realizada de forma efetiva, no entanto existe informação estatística desde a sua sinalização no terreno em Setembro de 2021, com incorporação um contador de visitantes, que até ao final do ano 2022 permitiu contabilizar mais de 1000 visitantes. Estes visitantes não incluem participantes em ações de curta duração como passeios científicos com escolas e ações de divulgação e formação de professores promovidos pela Associação Portuguesa de Geólogos e Centro Ciência Viva do Algarve que devido a limitações logísticas fazem apenas parte do percurso e depois exploram ou dão a conhecer o Storymap para que os participantes explorem autonomamente o local ou conheçam mais detalhes sobre o percurso completo. Assim, o Storymap “Um mergulho pelo mar do Jurássico” auxilia na divulgação científica do território aUGGp Algarvensis possibilitando a consulta de informação relevante durante a visita e em casos de impossibilidade de deslocação uma “visita virtual” (<https://arcg.is/f95KD>).

Agradecimentos: Gostaríamos de agradecer o financiamento concedido pela FCT aos projetos LA/P/0069/2020 concedido ao Laboratório Associado ARNET e UID/00350/2020 concedido ao CIMA da Universidade do Algarve. E todo o apoio do Município de Albufeira na concretização deste projeto no território do aUGGp Algarvensis.

Referências

- Almeida, P. (2018) Tecnologias digitais em sala de aula: o professor e a reconfiguração do processo educativo. Da Investigação às Práticas, 8(1), 4 - 21.
- Moura D. e Oliveira S., 2022. Uma História com muitos milhões de anos. Do oceano Tethys ao barrocal do Algarve. Município de Albufeira Doi: 10.34623/78ew-a979, ISBN 978-972-8124-52-6.
- Oliveira S., 2021. Storymap Um mergulho pelo mar do Jurássico. Disponível em <https://arcg.is/f95KD>
- Ramalho, M., 2015. Stratigraphic micropalaeontology of the Upper Jurassic neritic formations of Portugal and its Tethyan context. I-The Algarve Basin. Memórias Geológicas do Laboratório Nacional de Energia e Geologia 35: 1-111.

Pensar o legado mineiro a partir da Sociologia – Os exemplos das Minas do Pejão e Regoufe

Thinking the mining legacy from a Sociological point of view – The Pejão and Regoufe Mines examples

S. Pinheiro (1), P. Santos (2), J. T. Lopes (1), H. Sant’Ovaia (2), J. Torres (2) e D. Flores (2)

(1) Instituto de Sociologia da Universidade do Porto (IS-UP), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Via Panorâmica s/n, 4150-564 Porto, pinheirosapi@gmail.com

(2) Instituto de Ciências da Terra (ICT), Departamento de Geociências Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal

Summary: *Mining legacy can be object of multidisciplinary studies in a combined effort to access the real impacts of this activity on the society. From the sociological perspective a participatory action research methodology was used joining two core techniques, the interview and the survey, in order to understand the social impacts of mining activities in Arouca and Castelo de Paiva: the set of memories about mines that are activated in the discourses, the dimension of the mine in the construction of identities, and the perception of current environmental, health and safety risks. Using the data collected, a series of discussion sessions were held with students from the educational community of the two municipalities. As preliminary conclusions, the residents of the two municipalities see the mines as relevant elements in the construction of local and collective identities. Nevertheless, in the case of Castelo de Paiva, there is a stronger link and presence of the theme of mines.*

Key words: *mining legacy, mining identity, memory, sociology, participatory methods*

Palavras-chave: legado mineiro, identidade mineira, memória, sociologia, metodologia participativa

A indústria mineira teve em Portugal no passado um papel preponderante, sendo um importante motor para o desenvolvimento económico e social no país. Após o seu encerramento as comunidades locais enfrentam enormes desafios, quer motivados pelos impactes físicos resultantes da exploração mineira, quer pelas marcas sociais que esta atividade acarreta. O estudo dos impactes sociais do legado minério tem sido objeto de estudo no âmbito do *Projeto SHS – Soil health surrounding former mining areas: characterization, risk analysis, and intervention*. Este é um projeto com uma natureza multidisciplinar, que envolve investigação em diferentes áreas do conhecimento desde as ciências, à engenharia, passando pela sociologia e belas artes. Os trabalhos desenvolveram-se em torno de dois territórios mineiros distintos, a mina de Regoufe, localizada em Arouca, bem como o complexo mineiro do Pejão, no concelho de Castelo de Paiva.

A mina de Regoufe (Fig. 1) começou a explorar tungsténio em 1915, motivada pela Primeira Grande Guerra Mundial, e laborou até meados dos anos 70. Durante a Segunda Guerra Mundial sofreu um grande desenvolvimento, aumentando significativamente a

exploração e criando oportunidades de riqueza e desenvolvimento na região (Silva, 2011). Entre 1935 e 1951 foram extraídas cerca de 639 000 toneladas de minério de tungsténio e estanho.



Fig. 1. Vista geral da mina de Regoufe, ao fundo as suas instalações abandonadas e em primeiro plano as escombreiras.

O Complexo Mineiro do Pejão (Fig.2) explorou antracite A que se destinava, sobretudo, à produção de energia elétrica. Foi uma das mais importantes minas do norte de Portugal, tendo laborado durante

mais de um século, desde 1865 até ao seu encerramento em 1994, um destino que levou ao desemprego cerca de 500 trabalhadores.

Sob o ponto de vista da caracterização social dos impactes gerados pela atividade mineira e pelo seu encerramento, recorreu-se a uma abordagem de investigação-ação participativa, privilegiando uma metodologia mista e a intervenção junto da comunidade educativa dos dois concelhos.



Fig. 2. Aspeto de uma das escumbeiras e antigas instalações no complexo mineiro do Pejão

Numa primeira fase, aplicaram-se duas técnicas centrais, a entrevista e o inquérito por questionário, de forma a identificar o conjunto de memórias sobre as minas que são ativadas nos discursos; compreender o papel da mina na sedimentação da identidade local; e dar conta das perceções dos residentes sobre os atuais riscos ambientais, para a saúde humana e de segurança associados às escumbeiras. Numa fase posterior, com recurso aos dados recolhidos, realizou-se um conjunto de sessões de debate com turmas do ensino básico e do 3º ciclo da Escola Secundária de Arouca e da Escola EB. 2/3 do Couto Mineiro do Pejão. As sessões foram desenhadas com recurso a dinâmicas de educação não formal e à metodologia do teatro do oprimido. Este trabalho visa compilar os principais resultados dos inquéritos realizados às populações e das ações realizadas nas escolas dos dois territórios. Os dados recolhidos com recurso ao inquérito por questionário perspetivam as minas como elementos relevantes na construção das identidades locais e coletivas dos residentes dos dois concelhos. O contexto histórico da exploração, as práticas de trabalho e as memórias sobre a atividade chegam a integrar, frequentemente, os quotidianos dos residentes dos dois territórios. Verifica-se, no caso de

Castelo de Paiva, uma vinculação e presença maior do assunto das minas. Em ambos os casos, existe uma dualidade em torno da temática: por um lado, há o reconhecimento da importância das minas para o desenvolvimento da região e um esforço no sentido da sua preservação e patrimonialização; por outro, é um assunto difícil de abordar porque remete para a falta de condições de trabalho, para as doenças respiratórias e para os processos de pobreza ou desemprego associados ao encerramento. Em relação aos riscos, os residentes remetem-nos para o passado, desconhecendo a possibilidade da sua existência atual. As sessões com a comunidade educativa objetivaram divulgar a ciência e a sociologia, refletir sobre o território e aceder a representações sobre a atividade mineira, compreendendo como é que as histórias são apropriadas e transmitidas pelas gerações mais jovens dos concelhos. Algumas notas sobre os principais resultados obtidos através dos discursos dos estudantes que participaram nas oficinas incluem o seguinte: no caso do concelho de Arouca, uma vez que as minas fecharam nos anos 70, uma grande parte dos jovens desconhece em profundidade o período de exploração mineira, as histórias e memórias associadas, e os riscos que ainda persistem associados às escumbeiras. As representações imediatas sobre as minas remetem para o seu contexto histórico e o conflito entre ingleses e alemães. No caso do concelho de Castelo de Paiva, a maioria dos estudantes está próxima do fenómeno da exploração mineira, conhece em profundidade as histórias e memórias, e as representações imediatas remetem para as condições de trabalho, para a profissão de mineiro e para os relatos familiares. Apesar disso, existe um desconhecimento generalizado sobre os riscos atuais associados às escumbeiras. Este trabalho de investigação, nomeadamente a recolha de dados através do inquérito por questionário e a dinamização de sessões nas escolas ainda está a decorrer, permitindo futuramente ampliar as principais conclusões obtidas nesta fase preliminar.

Agradecimentos: Projeto financiado por NORTE-45-2020-75 - SISTEMA DE APOIO À INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA - "PROJETOS ESTRUTURADOS DE I&D&I" - HORIZONTE EUROPA, Ref. NORTE-01-0145-FEDER-000056 e enquadrado no âmbito das atividades do GI 3 do ICT (UIDB/04683/2020) e do ISUP (UIDP/00727/2020). Agradecimento aos investigadores do ISUP participantes do projeto: Leonardo Ferreira, Francisca Teixeira, Leonor Medon, Rita Madeira e Sandra Couto.

Referências

Silva, J. M. L. (2011). *Volfro! Esboço de uma teoria geral do "rush" mineiro: O caso de Arouca*. Associação de Defesa do Património Arouquense

De Portugal para o mundo, das Olimpíadas Portuguesas da Geologia (OPG) para a International Earth Science Olympiad (IESO)

From Portugal to the world, from Portuguese Geology Olympics (OPG) to International Earth Science Olympiad (IESO)

A. M. Pinto (1), J. M. Relvas (2), J. Ferreira (3) e J. C. Kullberg (4)

- (1) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto D. Luiz; CCV Lousal, Grândola; ampinto@fc.ul.pt
- (2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto D. Luiz; CCV Lousal, Grândola.
- (3) Sociedade Geológica de Portugal; Agrupamento de Escolas de Parede, Cascais.
- (4) Departamento Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, e GeoBioTec – polo FCT, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica.

Summary: Portugal has participated in the International Earth Science Olympiad (IESO) since the launch of the Portuguese Geology Olympiads (OPG) in 2015. The Portuguese IESO participation is justified by three fundamental reasons: the awarding of a prize to the students with the best classification in the OPG, the duty of national representation in an international school Olympiad, and the importance of the results obtained by our students to promote the OPG. In order to bridge the gap between the curricula of the OPG (less comprehensive) and the IESO (all spectrum of the Earth Sciences), Portuguese students selected for the IESO take part in a complementary training plan. Since the 9th edition, in 2015, Portugal has had a regular presence at IESO with very meritorious and consistent results from our students. The last two editions were online, losing much of the spirit of the IESO.

Key words: Geology, Earth Science, Portuguese Geology Olympics (OPG), Geological Society of Portugal (SGP), International Earth Science Olympiad (IESO), International Geoscience Education Organisation (IGEO).

Palavras-chave: Geologia, Ciências da Terra, Olimpíadas Portuguesas da Geologia (OPG), Sociedade Geológica de Portugal (SGP), International Earth Science Olympiad (IESO), International Geoscience Education Organisation (IGEO).

A IESO, cuja primeira edição teve lugar em 2007, é a mais jovem das olimpíadas científicas internacionais. Como a designação indica, é uma olimpíada dedicada às Ciências da Terra e não, apenas, à Geologia.

Trata-se de uma atividade educativa, na forma de “competição anual, sob a égide da IGEO (*International Geoscience Education Organisation* - <http://www.igeosied.org/>), que reúne estudantes do ensino secundário de todo o mundo, em representação dos respetivos países. Durante mais de uma semana, largas dezenas de jovens realizam testes teóricos e práticos, incluindo de campo, desenvolvem e apresentam projetos em equipas multinacionais, cumprem um interessante programa cultural e confraternizam, tornando este evento uma experiência única nas suas vidas”. (<https://opg.socgeol.pt/ieso>).

Os principais objetivos da IESO são: promover a educação em Geociências, a nível internacional, despertar as consciências para a sua importância, especialmente, entre os jovens, e melhorar a qualidade do seu ensino (<http://www.igeosied.org/activities/ieso-2/what-is-ieso/>). A IESO pretende, assim, contribuir para diminuir o fosso inquietante que existe entre a pertinência das Ciências da Terra para a sociedade e a

atenção relativamente reduzida que lhes é dada nas escolas de todo o mundo (Orion *et al.*, 2020).

As atividades da IESO estão direcionadas para a análise crítica, o trabalho de equipa, as observações de campo, a recolha de dados, a pesquisa de informação fiável na Internet e a capacidade de comunicação (oral e escrita). O fio condutor é a abordagem do sistema Terra como um todo, ou seja, a perspetiva de que o planeta Terra é um único sistema, compreendendo vários subsistemas que interagem entre si (*ibidem*).

A IESO é considerada uma olimpíada educativa única, por promover a abordagem do sistema Terra e o sentido da sua aprendizagem. Tal facto decorre da existência de duas provas, ITFI – *International Team Field Investigation* e ESP – *Earth System Project*, enquanto atividades de cooperação, em equipas multinacionais, não havendo paralelo em qualquer outra iniciativa congénere [Fig. 1]. Estas provas são realizadas por estudantes oriundos de diversos países, com diferentes contextos sócio-político-económicos, diferentes níveis de desenvolvimento e diferentes culturas (Shankar, 2019), e promovem o trabalho de equipa, a cooperação e a colaboração internacionais, bem como as pontes entre jovens de todo o mundo. (Orion *et al.*, 2020)



Fig. 1. Poster criado no âmbito da prova ESP por uma equipa que integrou o estudante português Diogo Teixeira (em baixo, à esquerda), na IESO 2019, em Daegu, na República da Coreia.

Os testes, incidem sobre várias temáticas dos domínios das Ciências da Terra incluindo, desde logo, a Geologia mas também a Geofísica, a Climatologia, a Oceanografia, as Ciências do Ambiente e a Astronomia (<http://www.igeosciad.org/wp-content/uploads/2022/11/IESO-official-Syllabus.pdf>).

Devido ao contexto pandémico, imposto pelo vírus SARS-CoV-2, a IESO não se realizou em 2020. Em 2021 regressou, mas num formato inédito, *online*, repetido em 2022. Este novo formato obrigou a uma série de adaptações inevitáveis, muito significativas, prejudicando o espírito de uma iniciativa que perde grande parte da sua essência, nestas condições.

Em Portugal, tal como na maioria dos países concorrentes à IESO, o apuramento dos estudantes para esta olimpíada faz-se a partir da final da prova nacional. A equipa portuguesa, em cada edição, é formada pelos três primeiros classificados dessa prova.

Entre a final nacional das Olimpíadas Portuguesas da Geologia (OPG), que acontece em maio ou junho, e a IESO, que tem lugar em agosto ou mais raramente em setembro, desenvolve-se um programa de preparação destes estudantes, que tem por objetivo cobrir as insuficiências curriculares da componente de Geologia da disciplina de Biologia e Geologia (base das OPG), por referência ao currículo da IESO. Essa etapa formativa conta com a colaboração de especialistas convidados de diversas áreas das Ciências da Terra, de diversas instituições e inclui um reforço da preparação em Geologia, particularmente, no domínio da Geologia de Campo.

Referências

- Orion, N., Shankar, R., Greco, R., e Berenguer, J.L. (2020). Promoting the Earth System approach and the meaning of learning. *European Geologist*, 50.
- Shankar, R. (2019). The International Earth Science Olympiad as a Tool to enhance the Profile and Quality of Earth Science Education. *Terrae Didactica*, 15.

Portugal participou pela primeira vez na IESO, em 2015 (9.^a edição), contando, já, com sete participações, as duas últimas, como referido, no seu formato *online*. Embora a operação OPG/IESO tenha, como alvo, os mais de 3.000 alunos envolvidos e não apenas os três estudantes apurados para as IESO, a SGP, enquanto entidade promotora, e a Comissão Nacional para as Olimpíadas da Geologia (CNOG) têm procurado dignificar Portugal e a escola portuguesa, num contexto internacional, proporcionando uma experiência educativa exceção a um grupo de alunos, muito restrito, é certo, mas merecedor de tal distinção, pelo desempenho de excelência nas OPG.

Os resultados de Portugal, na IESO, têm sido muito consistentes e meritórios, mais ainda, se tivermos em consideração o currículo nacional, na área das Ciências da Terra, o qual está aquém do que existe em muitos outros países concorrentes. Dos 23 estudantes que já representaram Portugal, nas 7 edições participadas, apenas dois não receberam uma medalha. Às tradicionais medalhas de ouro, prata e bronze, acresce um conjunto de outras classificações destacadas dos nossos estudantes, no âmbito das provas ESP e ITFI/NTFI, ao longo das várias edições.

A prova NTFI (*National Team Field Investigation*) é uma variante da prova ITFI que foi adotada para o formato *online*. É opcional e consiste num projeto de investigação desenvolvido, em cada país participante, num período que antecede a realização da IESO *online*. Tanto em 2021, como em 2022, as equipas portuguesas realizaram excelentes trabalhos, no âmbito dessa prova, distinguidos pelos júris internacionais e merecedores de divulgação, como exemplos de boas práticas pedagógicas.

(<https://youtu.be/-XOwb6yo5Kl>;

<https://youtu.be/37C20HXNaL4>).

A IESO é um evento em que Portugal deve estar representado. Para além disso a CNOG e a SGP consideram que esta iniciativa internacional constitui um relevante veículo de promoção das OPG. Os resultados dos estudantes portugueses na IESO dignificam e projetam internacionalmente o ensino em Portugal. Por outro lado, a sua divulgação, nas provas nacionais, pode atrair e impelir mais professores e estudantes a participar nas OPG.

(<https://webstorage.cienciaviva.pt/public/pt.cienciaviva.io/cms/files/WTSGsn91YRtMshVvA4.pdf>).

Geomonumentos: geologia para as escolas de Lisboa

Geomonumentos: geology for Lisbon schools

C. Pinto (1), M. Inácio (2), J. Vicente (3), P. Leonardo (4), A. Frias (5) e M. Cachão (6)

- (1) Câmara Municipal de Lisboa
- (2) Câmara Municipal de Lisboa; Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Instituto Dom Luiz
ext.miguel.inacio@cm-lisboa.pt
- (3) Câmara Municipal de Lisboa
- (4) Câmara Municipal de Lisboa
- (5) Câmara Municipal de Lisboa
- (6) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Instituto Dom Luiz

Summary: *The Geomonumentos are open-air museums that aim to value the geology of Lisbon. These areas are integrated into Plano Diretor Municipal of Lisbon Municipality and can be visited through thematic routes (guided or autonomously). For 2022, the Municipality of Lisbon intends to present new routes and activities to engage the school community. Six significant subjects were identified to address each educational level in order to achieve this goal. The activities will be specific for each level and take advantage of the unique characteristics of each Geomonumento. The planning of the activities will be done in articulation with the Natural Sciences and Biology and Geology teachers of the Lisbon schools.*

Key words: *Lisbon, Geomonumentos, Cretaceous, Miocene, Education*

Palavras-chave: Lisboa, Geomonumentos, Cretácico, Miocénico, Educação

Geomonumentos são *exomuseus* da natureza e permitem a interpretação da história geológica da região de Lisboa. São afloramentos geológicos diversificados e visitáveis em meio urbano, que abrangem formações cretácicas e miocénicas, sedimentares (calcários, areias e argilas) e magmáticas (basaltos). Identificam-se diferentes paleoambientes e o conteúdo fóssilífero é também relevante em alguns afloramentos.

Após inventariação e classificação, os Geomonumentos de Lisboa têm sido alvo de trabalhos de proteção, conservação e divulgação desde 2009, existindo um total de 17 áreas classificadas e incluídas no Plano Diretor Municipal. A valorização destes afloramentos passou por um processo de limpeza, colocação de totens com informação sobre a geologia e enquadramento cronostratigráfico. Adicionalmente, três destes Geomonumentos foram integrados em parques urbanos:

- Parque da Pedra;
- Parque da Bela Vista;
- Parque Urbano do Rio Seco.

Existem dois percursos temáticos que podem ser realizados de forma autónoma, intitulados “Ambientes de Deposição” e “Pedreiras”. Estes percursos estão disponíveis *online* e acessíveis através de um *StoryMap* da ESRI, onde são incluídas outras

informações relevantes, como os acessos e transportes próximos de cada Geomonumento (Pinto & Vicente, 2015). Adicionalmente, a Câmara Municipal de Lisboa tem realizado visitas guiadas com grupos que manifestem interesse junto do município, sendo estas acompanhadas de uma explicação mais detalhada sobre a geologia de Lisboa.

Para 2023, pretende-se criar percursos, visitas e atividades direcionadas para a comunidade escolar. Efetivamente, os programas de geologia presentes nas disciplinas de Ciências Naturais (2º e 3º ciclos) e Biologia e Geologia (Ensino Secundário), disponíveis no *website* da Direção-Geral da Educação (DGE, 2023), preveem a realização de trabalho de campo, nomeadamente através da identificação de rochas em afloramentos e de caracterização de paisagens geológicas. No entanto, em contexto urbano a incorporação da componente de campo nos programas escolares é frequentemente complexa.

Com base na informação disponível foi realizada uma inventariação dos temas com potencial para serem abordados nestas atividades e visitas guiadas com as escolas do Município de Lisboa, organizando-se em seis grandes grupos: (1) conceitos gerais, (2) rochas, (3) (paleo) alterações climáticas, (4) recursos geológicos e sustentabilidade, (5) cronostratigrafia e (6) geologia estrutural. Cada um dos grandes grupos tem vários subtemas a abordar, de acordo com o explicitado na Tabela I. Posteriormente, foram

analisados os níveis de conhecimento que podem ser exigidos para cada nível de ensino, de modo a adaptar a complexidade das atividades a realizar com os alunos de cada ciclo.

Presentemente, está a decorrer uma operação de vistoria, limpeza e manutenção dos Geomonumentos classificados, de modo a garantir a qualidade das aprendizagens aquando das visitas aos mesmos por parte das escolas. As atividades concretas estão a ser definidas em colaboração com o Departamento de

Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e terão início no ano letivo de 2023/2024. No âmbito desta colaboração serão também enquadradas atividades com alunos do 1.º ciclo do ensino básico, nomeadamente com atividades do Programa Rocha Amiga. As atividades serão organizadas em articulação com os professores das escolas que manifestarem interesse em participar.

Tabela I. Organização dos temas a abordar nas atividades sobre os Geomonumentos nas escolas de Lisboa, para diferentes níveis de ensino.

Grupos	Níveis de Ensino						
	2º Ciclo		3º Ciclo			Secundário	
	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º
1. Conceitos Gerais	Relação entre vida e geologia						
	Distinguir rocha de mineral						
	Paisagens geológicas						
	Identificação de rochas						
2. Rochas	Ciclo das rochas						
	Definição						
	Tipos de rochas						
	Génese						
	Características						
	Exemplos						
3. (Paleo) Alterações Climáticas	Identificação						
	Definição						
	Temperatura						
	Nível do mar						
4. Recursos Geológicos e Sustentabilidade	Dióxido de carbono						
	Recurso, reserva, jazigo						
	Energéticos e não energéticos						
	Renováveis e não renováveis						
	Utilização de recursos						
	Potencialidades e impactes						
5. Cronostratigrafia	Sustentabilidade						
	Raciocínio Geológico						
	Tabela cronostatigráfica						
	Eventos importantes						
	Datações relativas e absolutas						
	Fósseis						
6. Geologia Estrutural	Definição						
	Formação						
	Utilidade						
	Modelos estruturais da Terra						
Dobras e falhas							
Cartas geológicas							

Nível de conhecimento	Básico	Médio	Avançado
-----------------------	--------	-------	----------

Referências

- Pinto, C., & Vicente, J. (2015). *Geomonumentos de Lisboa*. Câmara Municipal de Lisboa. <https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=292fa0698542496199e61a5fe32c0501>, acedido a 08/02/2023;
- DGE (2023). *Documentos curriculares em vigor*. Direção-Geral da Educação. <https://www.dge.mec.pt/documentos-curriculares-em-vigor>, acedido a 08/02/2023.

Introdução de Ciência Cidadã na disciplina de Cidadania e Desenvolvimento – a App AGEO e os riscos naturais

Introducing Citizen Science in Portuguese high school Cidadania e Desenvolvimento subject – the AGEO App and natural risks

E. C. Ramalho (1), L. Quental (2), C. Pinto (3) e R. C. Gomes (4)

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Lisboa, Portugal, elsa.ramalho@lneg.pt

(2) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Lisboa, Portugal

(3) Câmara Municipal de Lisboa (CML), Lisboa, Portugal

(4) Instituto Superior Técnico (IST); Lisboa, Portugal

Summary: *The concept of Citizen Science and Citizen Observatories can be successfully addressed in the Portuguese school in the subject Cidadania e Desenvolvimento since its goals include providing students from an early age with tools to become proactive and engaged citizens. Nowadays, advantages can be taken with the common use of smartphones by youngsters, with friendly Apps that are easy to use and can be targeted to help students realizing the importance of social engagement. The App AGEO, under development within the scope of the Project AGEO – Platform for Atlantic Geohazard Risk Management, targets natural hazards such as tsunamis, earthquakes, rock falls, sinkholes or dolines, volcanic eruptions, floodings, landslides, river and marine floodings and building settlements and is a tool that allows citizens to participate in identification and reporting. This type of tools is perfectly adequate to be addressed in the content of the subject Cidadania e Desenvolvimento.*

Keywords: *Citizen science, citizen observatories, subject Cidadania e Desenvolvimento, AGEO App*

Palavras-chave: *Ciência cidadã, observatórios de cidadãos, disciplina Cidadania e Desenvolvimento, App AGEO*

O conceito de Ciência Cidadã, que abraça a inclusividade através da iniciativa do público para voluntariamente contribuir para a investigação científica, tem vindo a ser amplamente divulgado nos últimos anos, em especial nas áreas sociais e das ciências naturais. Na última década, com a universalização do uso de *smartphones* e as suas aplicações pelos jovens, por vezes desde muito tenra idade, abrem-se novas possibilidades para a aplicação do conceito de Ciência Cidadã através da criação de Observatórios de Cidadãos acessíveis a todos através deste *gadget*. Para tal, quando para tal sejam estimulados em ambiente escolar, os jovens podem tornar-se indivíduos empenhados e envolvidos na sustentabilidade ambiental da sua comunidade desde que lhes seja incutida uma consciencialização para a necessidade de contribuir positivamente para a sociedade (Direção Geral da Educação, 2017a). Com efeito, os valores da cidadania encontram-se consagrados nos princípios da Lei de Bases do Sistema Educativo (Lei nº 46/86, de 14 de outubro), estabelecendo-se que este deverá ser organizado de modo a contribuir para a realização dos alunos, através do pleno desenvolvimento da sua personalidade, atitudes e sentido de cidadania. No entanto, os *curricula*

escolares ainda não exploram esta vertente com todo o seu potencial, pelo que a adaptabilidade e ousadia igualmente consagradas nos princípios da mesma Lei de Bases, de que é fundamental a adaptação a novos contextos e novas estruturas, mobilizando as competências adquiridas pelos alunos, podem ser conseguidas através da divulgação de projetos e iniciativas já validados de Observatórios de Cidadãos. De acordo com a Direção-Geral da Educação (2017a), “a Cidadania não se aprende por processos retóricos e ensino transmissivo, mas por processos vivenciais que sustentem a cultura escolar – assente numa lógica de participação e corresponsabilização entre todos os intervenientes da comunidade educativa (docentes, estudantes, famílias, ONG, especialistas, etc.)”; esta lógica de aprendizagem que envolve a participação e corresponsabilização por parte de jovens em formação materializa-se nos objetivos da disciplina de Cidadania e Desenvolvimento, que abarca os 1º, 2º e 3º ciclo e, além de outras matérias, aborda a relação entre o indivíduo e o mundo que o rodeia, construída numa dinâmica constante com os espaços físico, social, histórico e cultural. O seu conteúdo programático coloca a cada escola o desafio de assegurar a preparação dos alunos

para as múltiplas exigências da sociedade contemporânea. Neste sentido, os alunos são preparados para uma reflexão consciente sobre os valores da sociedade no sentido de assegurar o seu desenvolvimento cívico equilibrado. Para tal, os princípios de base humanista focam-se, entre outros, numa ação positiva dos indivíduos sobre o mundo enquanto bem comum a preservar e na consciência da sustentabilidade do Sistema Terra, pela promoção da qualidade de vida. O conteúdo programático da disciplina pretende que o jovem, à saída da escolaridade obrigatória, seja um cidadão capaz de utilizar e dominar instrumentos diversificados para descrever, avaliar, validar e mobilizar informação, de forma crítica e autónoma, e colaborar em diferentes contextos comunicativos, utilizando diferentes tipos de ferramentas (analógicas e digitais), com base nas regras de conduta próprias de cada ambiente capaz de pensar crítica e autonomamente (Oliveira Martins et al., 2017) e, em simultâneo, afirma que as competências científicas dos alunos deverão fazê-lo compreender processos e fenómenos científicos que permitam a tomada de decisão e a participação em fóruns de cidadania (Direção Geral da Educação, 2017a) (Fig. 1). Ambos os objetivos torna os alunos capazes de se envolverem ativamente em Ciência Cidadã e Observatórios de Cidadãos com o recurso a *Apps* de uso comum em *smartphones*, adaptando-se aos diferentes contextos naturais, tecnológicos e socioculturais, através de atividades experimentais, projetos e aplicações práticas desenvolvidos em ambientes físicos e digitais.

A *App* AGEO, em desenvolvimento no âmbito do Projeto AGEO – Platform for Atlantic Geohazard Risk Management (<https://ageoatlantic.eu/>), pode, dentro deste âmbito, constituir um desafio tanto para os alunos como para os professores, na associação da consciência cívica às competências científicas dos alunos enquanto cidadãos, no que diz respeito à identificação e reporte de riscos naturais de vários

tipos, designadamente tsunamis, sismos, quedas de blocos, dolinas ou buracos, erupções vulcânicas, inundações, deslizamentos de terras, erosão costeira, assentamentos ou abatimentos de terra e incêndios florestais, contribuindo desta forma para a sua identificação e prevenção por parte das autoridades competentes e cidadãos em geral. Além disso a *App* é por si só uma ferramenta que se pretende pedagógica, com informações técnico-científicas acerca dos tipos de riscos a reportar.

As aprendizagens em contexto escolar com este tipo de ferramenta de Ciência Cidadã, e em particular com a *App* AGEO, incentivam os jovens a serem proativos na defesa e preservação do bem comum e individual, utilizando de uma forma positiva e proativa os Observatórios de Cidadãos já testados e validados para executar operações técnicas, seguindo uma metodologia de trabalho adequada, para atingir um objetivo ou chegar a uma decisão ou conclusão fundamentada, adequando os meios materiais e técnicos à ideia ou intenção expressa (Direção-Geral da Educação, 2017b).

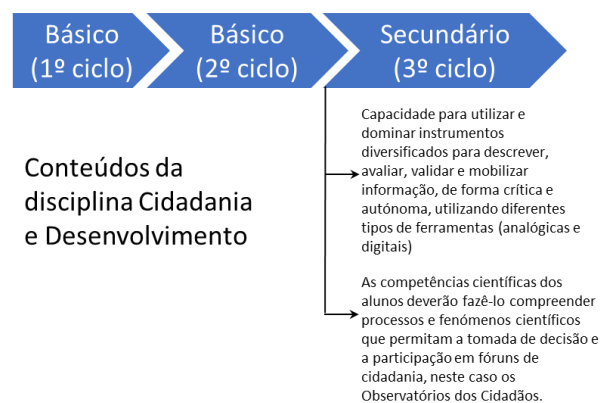


Fig. 1. Competências desenvolvidas pelos alunos à saída do 3º ciclo de estudos na disciplina de Cidadania e Desenvolvimento – enquadramento dos Observatórios de Cidadãos.

Referências

- Direção-Geral da Educação (2017a). Estratégia Nacional de Educação para a Cidadania: Orientações Estratégicas para a implementação da Estratégia de Educação Para a Cidadania de Escola. <http://www.dge.mec.pt/educacao-para-a-cidadania/documentos-de-referencia> consulta online 21/11/2022.
- Direção Geral da Educação (2017b). Ensino Básico E Ensino Secundário Cidadania e Desenvolvimento – Enquadramento, 6p. https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/cidadania_e_desenvolvimento.pdf consulta online 21/11/2022.
- Oliveira Martins, G., Gomes, C.A. S., Brocardo, J. M. L., Pedroso, J. V., Carrillo, J. L. A., Silva, L. M. U., Encarnação, M.M. G. A., Horta, M. J. V. C., Calçada, Soares, M. T. C. S., Nery, R. F. V., Rodrigues S. M. C. V. (2017). Perfil dos alunos à saída da escolaridade obrigatória. Ministério de Educação/Direção Geral da Educação.

As Olimpíadas Portuguesas da Geologia (OPG): modelo de funcionamento e evolução

The Portuguese Geology Olympics (OPG): operating model and evolution

J.M. Relvas (1), A.M. Pinto (2), J. Ferreira (3) e J.C. Kullberg (4)

- (1) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto D. Luiz, Lisboa; CCV Lousal, Grândola; jrelvas@fc.ul.pt
- (2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto D. Luiz, Lisboa; CCV Lousal, Grândola.
- (3) Sociedade Geológica de Portugal; Agrupamento de Escolas de Parede, Cascais.
- (4) Departamento Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, e GeoBioTec – polo FCT, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica.

Summary: *The Portuguese Geology Olympics (OPG) became a widely respected and consolidated initiative, in the context of the school Olympics, in Portugal, as evidenced by the support of the entities that guarantee their financial sustainability, namely the Ministry of Education (ME), and by the high levels of participation, which reflect the recognition of both teachers and students and, ultimately, its relevance. Despite the pandemic context, the OPG knew how to reinvent itself and, in fact, it was never interrupted. However, there was an unavoidable abrupt decrease in the number of participants in 2021, which affected all school and circum-school activities. Nevertheless, in the last two years, the participation numbers show a robust recovery trend, which opens again good prospects for the future. We hope that the newly renewed OPG webpage will represent a significant contribution to the desired evolution.*

Key words: *Portuguese Geology Olympics (OPG), Geological Society of Portugal (SGP), Portuguese Geology Olympics Committee (CNOG), Ciência Viva Network, Azores Geopark.*

Palavras-chave: Olimpíadas Portuguesas da Geologia (OPG), Sociedade Geológica de Portugal (SGP), Comissão Nacional para as Olimpíadas da Geologia (CNOG), Rede Ciência Viva, Geoparque Açores.

As Olimpíadas Portuguesas de Geologia (OPG) nasceram por iniciativa de um dos autores (J. C. Kullberg), no seio da Direção da Sociedade Geológica de Portugal (SGP) e com o patrocínio do seu então presidente, Professor Doutor Rogério Rocha. O lançamento foi feito no IX Congresso Nacional de Geologia (Porto, 2014) e a implementação teve lugar, no ano letivo 2014/2015, já no mandato de outro presidente da SGP – o Professor Doutor Rui Dias. A iniciativa surgiu com a intenção de responder à falta de uma olimpíada científica escolar nacional, na área das Ciências da Terra e, conseqüentemente, à ausência de Portugal, na *International Earth Science Olympiad* (IESO) que, em 2015, ia já para a sua 9.ª edição.

As OPG pretendem despertar o interesse pela Geologia, dinamizar o seu ensino, num nível pré-universitário e contribuir para a formação científica dos estudantes do ensino secundário, de acordo com as aprendizagens essenciais, os pressupostos do Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória e os objetivos do desenvolvimento sustentável das Nações Unidas, uma organização que reconhece que “todas as decisões

sobre a sustentabilidade global deveriam ser fundamentadas na riqueza do conhecimento, existente e futuro, proporcionado pelas Ciências da Terra” (UNESCO, 2008). Conseqüentemente, as OPG têm um objetivo acessório de captação vocacional e de aproximação das escolas secundárias às universidades que se dedicam ao ensino das Ciências da Terra.

Trata-se de uma atividade educativa, em forma de concurso, para alunos matriculados no 11.º ano da disciplina de Biologia e Geologia, dividido em três fases. A fase escolar é aberta a todos os potenciais participantes, apurando três alunos de cada escola para a fase regional que, por sua vez, apura para uma fase final 5 alunos de cada uma de 4 regiões, mais os 5 melhor classificados a nível nacional que não foram apurados diretamente na sua região. A fase regional mobiliza instituições de divulgação científica, como tem sido o caso do Geoparque Açores, um parceiro indispensável que coordena, anualmente, uma operação complexa, envolvendo a deslocação de jovens entre ilhas. Também os Centros Ciência Viva se têm associado à realização da prova da fase regional, tendo

a sua distribuição geográfica determinado a localização das escolas convidadas a acolher a referida prova, no território continental (Vila do Conde, Coimbra, Faro e Grande Lisboa).

A estreita articulação com a Rede de Centros Ciência Viva estende-se ao secretariado nacional, que é assegurado pelo CCV do Lousal – Mina de Ciência e à fase final que é recebida pelo CCV de Estremoz. A fase final é uma ótima experiência educativa que ocupa um fim-de-semana e inclui, para além do teste teórico, que é comum às outras fases, dois testes práticos, um de análise de amostras de minerais e rochas (Fig. 1), e outro de análise de afloramentos, para além de vários momentos formativos e muito convívio entre jovens procedentes de várias regiões do País.



Fig. 1. Prova prática de minerais e rochas, na final da 8.ª edição (2021/2022), no Centro Ciência Viva de Estremoz.

O reconhecimento do mérito e do interesse da iniciativa por parte do ME levou à criação de um protocolo com a Direção-Geral da Educação, que garante o principal suporte institucional e financeiro das OPG. Acrescem os contributos financeiros de duas entidades de referência, no apoio à atividade científica e às escolas portuguesas - a agência Ciência Viva e a Fundação Calouste Gulbenkian -, e, pontualmente, de outras entidades públicas e privadas.

A iniciativa é coordenada pela Comissão Nacional para as Olimpíadas da Geologia (CNOG), cuja constituição é validada pela Direção da SGP e existe um Regulamento

específico, aprovado em sede de Assembleia-Geral da SGP (julho de 2014), onde todo o desenrolar das provas está minuciosamente descrito.

Para o sucesso das OPG, tem sido indispensável o envolvimento dos professores e a sua capacidade de mobilização dos estudantes, embora estes também sejam levados a participar por outras razões (Abernathy & Vineyard, 2001).

O número anual de participações, antes da pandemia, tinha-se estabelecido em cerca de 200 escolas secundárias e cerca de 3000 alunos (<https://opg.socgeol.pt/opg/2018>), o que é notável, tendo em conta a oferta concorrencial de outras olimpíadas científicas escolares nacionais, devidamente estabelecidas na altura do surgimento das OPG e dirigidas para o mesmo público, e considerando, ainda, que o universo de potenciais participantes das OPG se restringe a estudantes de um único ano de escolaridade. Está em curso um estudo comparativo que permitirá suportar a ideia da boa adesão às OPG, quer no contexto das iniciativas congéneres em Portugal, quer por referência a outras olimpíadas de Geologia (ou de Ciências da Terra) realizadas nos países que marcam presença na IESO.

Para lá da sua importância decisiva na mobilização dos estudantes, é de destacar o papel determinante dos professores, através do “professor responsável”, que funciona como elemento de ligação entre a organização e cada escola. A influência dos professores estende-se ao escrutínio das provas, cuja qualidade tem sido reconhecida, contribuindo para a afirmação das OPG.

A SGP investiu na criação de uma página das OPG, na internet (<https://opg.socgeol.pt/>), lançada no início de 2023, que tem como principal objetivo dar mais visibilidade à iniciativa, atraindo estudantes e professores que nela são justamente destacados, por constituírem os protagonistas do concurso. A página das OPG constituirá, ainda, uma mais-valia pedagógica significativa, pelas possibilidades oferecidas, relativamente à exploração das questões constituintes dos testes das OPG, nomeadamente, a sua resolução interativa.

Referências

- Albernathy, T. V. & Vineyard, R. N. (2001). Academic Competitions in Science: What Are the Rewards for Students? The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas, 74:5, 269-276.
- Direção-Geral da Educação (2018). Aprendizagens essenciais, Ensino Secundário, Biologia e Geologia.
- Martins, G. O., coord. (2017). Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória. Ministério da Educação/Direção-Geral da Educação.
- UNESCO (2008). Declaration presented at the Global Launch Event of the International Year of Planet Earth (IYPE).

Análise do questionamento em manuais escolares do 7.º ano de escolaridade de Ciências Naturais: Das Metas Curriculares às Aprendizagens Essenciais

Analysis of questioning in textbooks of 7th grade of Natural Sciences:

From Curricular Goals to Essential Learning

A. Ribeiro (1), C. Nunes (1), P. Alegria (1) e J. Torres (1,2)

(1) Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra, 3030-790 Coimbra, Portugal, anateresa.toq@gmail.com

(2) Instituto de Ciências da Terra (ICT), Polo Porto, Porto & Escola Superior de Educação de Fafe, Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação do Instituto de Estudos Superiores de Fafe (CIDI-IESF), Fafe, Portugal

Summary: Textbooks are a didactical resource widely used in school context. As so, the quality of such resources is crucial as they should be prepared in a correct, complete and diversified way. The aim of this study is to evaluate the questions of the sub-theme “Structure and internal dynamics of the Earth” presented in the 7th grade textbooks of Natural Sciences subject. For this analysis, three recent books and their previous versions were used. With this study it was possible to conclude that there was a reduction in the overall number of questions in the new textbooks. It was also possible to verify that the majority of the questions were encyclopaedic (questions of low cognitive level) and that only few interdisciplinary questions were found.

Key words: natural sciences, textbooks, questioning

Palavras-chave: ciências naturais, manuais, questionamento

A sociedade, em que os alunos se encontram inseridos, pretende desenvolver cidadãos capazes de intervir autonomamente. A utilização de perguntas é uma estratégia-chave na promoção dessa capacidade (Jesus et al., 2006). Para além disso, em contexto escolar, as perguntas, entre outras coisas, podem fornecer evidências importantes sobre a compreensão dos alunos nos temas lecionados, ajudando os professores a ajustar as suas estratégias de ensino-aprendizagem (Jesus & Moreira, 2009).

Apesar da variedade de materiais pedagógicos disponíveis, o manual escolar continua a ser o principal recurso educativo utilizado nas salas de aula, exercendo uma grande influência nos processos de ensino e aprendizagem dos alunos (Torres et al., 2015). Este aspeto corrobora a necessidade de garantir a qualidade deste recurso em diversos aspetos, nomeadamente no âmbito do questionamento.

Neste sentido, tendo em conta que no ano letivo 2021/2022 foram lançados novos manuais de Ciências Naturais do 7.º ano de escolaridade do ensino básico, procedemos à análise e avaliação de três manuais escolares em vigor (CN1, CN2 e CN3), de acordo com as Aprendizagens Essenciais (AE) e o Perfil do Aluno à Saída da Escolaridade Obrigatória (PASEO) e comparámo-los com os manuais adotados anteriormente (CN1', CN2' e CN3'), de acordo com as metas curriculares. Neste estudo, esta comparação focou-se em diversos aspetos do questionamento presente num subtema dos manuais - Estrutura e Dinâmica Interna da Terra

As questões foram, assim, avaliadas tendo em conta a sua localização, função, tipologia, abrangência e exigência. Para tal, foram criadas e preenchidas tabelas de análise adaptadas de outras já validadas presentes em Leite et al., (2012) e Torres et al., (2015). Para assegurar a uniformidade e precisão do estudo foram utilizados descritores das diferentes categorias avaliadas. A análise dos manuais escolares foi realizada individualmente pelos autores com posterior discussão de pequenas discrepâncias detetadas, até se atingir o consenso.

Apesar de ser inegável a importância do questionamento nas aulas de Ciências Naturais, verifica-se que, com a reestruturação dos manuais, houve uma diminuição do número total de questões. No que diz respeito à localização das questões (abertura de unidade/subunidade, títulos, atividades, incorporadas no texto ou no final de unidade/subunidade) verifica-se que a maioria se encontra associada a atividades e no fim de subunidade.

Já no que concerne à função estas podem ser avaliadas como: questões de diagnóstico de conhecimentos prévios, de ligação, de apresentação de atividades de aprendizagem, de aplicação conhecimentos e de fomentação da autorreflexão. Quanto às questões que fomentam a autorreflexão, estas são escassas em todos os manuais escolares face à sua importância. A autorreflexão é uma capacidade que os alunos devem desenvolver em contexto de sala de aula, incentivando assim o questionamento.

Relativamente às questões de ligação, que ligam duas partes de texto, foram também diminuídas ou retiradas de forma completa dos manuais recentes. Uma justificação para esta diferença é que, nos manuais mais antigos, estas eram usadas para introduzir conteúdos, o que não se verifica nos manuais em vigor.

Com a atualização dos manuais, verificou-se uma extinção total das questões de diagnóstico dos conhecimentos prévios dos alunos, o que não se coaduna com as orientações pedagógicas vigentes.

Além da sua função, as questões podem também ser avaliadas pela sua tipologia (Tabela I) o que reflete o nível cognitivo das mesmas, sendo que as questões enciclopédicas apenas requerem uma resposta simples/a apresentação de uma definição, enquanto as restantes já implicam a mobilização de conhecimentos. Perante os dados recolhidos podemos concluir que em todas as unidades dos diferentes manuais existe uma predominância (>60%) das questões enciclopédicas, seguidas das de compreensão, em detrimento das restantes tipologias (Tabela I).

Relativamente às questões de procura de soluções e de cenários imaginários (cenários hipotéticos), estas surgem apenas pontualmente em todos os manuais, não lhe sendo atribuída a relevância merecida.

A interdisciplinaridade (abrangência das questões) é um dos grandes objetivos presente nas AE, devendo ser por isso fomentada, evitando a compartimentação do

conhecimento. No entanto, a maioria das questões, em todos os manuais (>80%), apenas aborda conhecimentos de Ciências Naturais.

No que respeita à exigência das questões, estas foram classificadas como: verbalização de informação, organização de resposta c/ papel e lápis, pesquisa de informação, concordância passiva e realização de atividades laboratoriais. Na avaliação da exigência das questões, em todos os manuais escolares, foi possível aferir que a maioria das questões apenas requerem a verbalização de informação, implicando uma resposta direta e organização simples. Consideramos que as respostas mais diretas podem ser relevantes, servindo como auxiliares nas respostas mais complexas. Simultaneamente, entendemos que estas deveriam existir em menor número, dando lugar a respostas mais exigentes, que promovam o raciocínio cognitivo superior.

Os documentos das AE e do PASEO promulgados pelo Ministério da Educação valorizam o conhecimento prévio do aluno de forma a possibilitar a construção de uma aprendizagem significativa dos novos conteúdos e da utilização do questionamento como ferramenta para o desenvolvimento de raciocínio cognitivo superior. Desta forma pudemos concluir que com a reestruturação dos manuais tais objetivos não foram totalmente alcançados.

Tabela I- Avaliação da tipologia das questões por manual.

Categoria	CN1	%	CN1'	%	CN 2	%	CN 2'	%	CN 3	%	CN 3'	%	
Enciclopédica	57	72,2%	92	73,6%	55	84,6%	114	81,4%	54	76,1%	70	69,3%	
Compreensão	12	15,2%	23	18,4%	3	4,6%	13	9,3%	10	14,1%	19	18,8%	
Relacional	6	7,6%	1	0,8%	5	7,7%	6	4,3%	3	4,2%	5	5,0%	
Avaliação	1	1,3%	4	3,2%	1	1,5%	1	0,7%	1	1,4%	2	2,0%	
Procura de Soluções	Problemas científicos	1	1,3%	0	0,0%	1	1,5%	3	2,1%	1	1,4%	1	1,0%
	Problemas sociocientíficos	0	0,0%	1	0,8%	0	0,0%	2	1,4%	0	0,0%	0	0,0%
Cenários Imaginários	0	0,0%	4	3,2%	0	0,0%	1	0,7%	2	2,8%	4	4,0%	
Sem classificação	2	2,5%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	
TOTAL	79	100,0%	125	100,0%	65	100,0%	140	100,0%	71	100,0%	101	100,0%	

Referências

- Jesus, H., & Moreira, A. C. (2009). The role of students' questions in aligning teaching, learning and assessment: a case study from undergraduate sciences. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 34(2), 193–208. <https://doi.org/10.1080/02602930801955952>
- Leite, L., Dourado, L., Morgado, S., Vilaça, T., Vasconcelos, C., Pedrosa, M. A., & Afonso, A. S. (2012). Questionamento em manuais escolares de ciências: Desenvolvimento e validação de uma grelha de análise. *Educar Em Revista*, 44, 127–143. <https://doi.org/10.1590/s0104-40602012000200009>
- Torres, J., Almeida, A., & Vasconcelos, C. (2015). Questionamento em manuais escolares: um estudo no âmbito das Ciências Naturais. *Ciência & Educação (Bauru)*, 21(3), 655–671. <https://doi.org/10.1590/1516-731320150>

Os Geocientistas e a Comunicação de Geociências em Portugal

J. Rodrigues (1), C. Castro (2), E. Costa e Silva (3) e D. I. Pereira (4)

- (1) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, joana225@gmail.com
- (2) Centro de Matemática, Universidade do Minho
- (3) Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade, Universidade do Minho

Summary: *Several obstacles can make it difficult for geoscientists to engage with the public. In order to better design strategies promoting geoscience communication, it is fundamental to understand the main challenges faced. With this purpose, we assessed Portuguese geoscientists' representations and attitudes, concluding that it is a dynamic and motivated community, that feels comfortable and prepared to communicate. A deeper analysis has shown that, as in other communities, there are personal and context factors predicting their willingness to communicate. It was also possible to verify a gap between their experiences and their perceptions, distant from science communication research.*

Key words: *geoscience communication, geoscientists, Portugal, perceptions*

Palavras-chave: *comunicação de geociências, geocientistas, Portugal, percepções*

O presente estudo analisa os resultados de um inquérito sobre as práticas de comunicação de ciência da comunidade portuguesa de geocientistas, pretendendo ainda fornecer contributos abrangentes também para comunidade internacional.

A comunicação de ciência tem sido um parente pobre da atividade profissional dos geocientistas. Técnicos, professores, investigadores ou alunos de pós-graduação da área das Geociências debatem-se com diversos obstáculos à comunicação, apesar de, na sua grande maioria e de alguma forma, reconhecerem a importância da comunicação com não especialistas e demonstrarem vontade em dinamizar atividades.

Nos últimos 30 anos, a comunicação de ciência em Portugal sofreu um grande florescimento na sequência de uma política de maior valorização da cultura científica que se traduziu no progressivo reconhecimento da sua importância e no aumento substancial de programas, iniciativas, instituições e cientistas envolvidos (Gramado & Malheiros, 2015; Entradas et al 2020). Também os geocientistas, embora num número reduzido e numa escala menor, começaram a comunicar, com alguma regularidade, com públicos não especialistas. Programas nacionais como a Ciência Viva no Verão (Geologia no Verão) ou a Semana da Ciência e da Tecnologia e instituições como o Museu de História Natural e, mais tarde, os Centros Ciência Viva e os Geoparques foram, progressivamente, estabelecendo diferentes dinâmicas de comunicação pública de ciência. Sobre as estratégias usadas ou sobre o impacto desta comunicação são poucos os dados e também quase

nada se sabe sobre os desafios específicos que esta comunidade enfrenta.

O estudo de comunidades científicas específicas tem trazido vários contributos importantes sobre as motivações e os obstáculos que os cientistas enfrentam. Todavia, os dados relativos aos geocientistas são escassos, resumindo-se ao estudo pioneiro de Liverman & Jaramillo (2011). Deste modo, com o objetivo de analisar as práticas e as representações sobre a comunicação de ciência, foi aplicado um questionário à comunidade portuguesa de geocientistas.

Os dados foram recolhidos através de um inquérito online auto-administrado, composto por 47 perguntas (subdivididas em 161 indicadores) e dividido em três grupos: perfil demográfico (1), experiências e práticas (2) e representações (3) sobre comunicação de ciência. A amostra é constituída por profissionais técnicos, professores, investigadores e alunos de pós-graduação em Geociências, a desenvolver a sua actividade em Portugal, tendo sido recolhidas 179 respostas válidas. A análise estatística dos resultados obtidos incluiu testes qui-quadrado e regressão logística multinominal e permitiu traçar um panorama sobre as estratégias e os contextos de comunicação, assim como compreender alguns dos fatores que explicam o envolvimento com o público (Rodrigues et al., *in press*).

De um modo geral, os geocientistas mostram-se interessados e de algum modo empenhados em comunicar revelando, em muitos casos, confiança nas suas competências, apesar de poucos terem tido acesso a formação.

Os dados obtidos mostram também que o envolvimento com o público pode ser explicado por fatores pessoais, como a autoconfiança, a satisfação pessoal e a perceção da sua atividade. Por exemplo, quem sente mais confiança nas suas capacidades e quem reporta experiências positivas tende a comunicar mais. Por outro lado, pesam também fatores contextuais, como a área de especialização, a experiência profissional, a atitude da instituição para a qual trabalham, falta de apoio financeiro, a perceção que têm sobre as implicações do seu trabalho para a sociedade ou a perceção da complexidade da sua área científica. Os geocientistas com maior experiência profissional (mais de 20 anos) tendem a comunicar mais, assim como os que reconhecem que o seu trabalho tem implicações para a sociedade.

Foi igualmente possível concluir que as experiências reportadas nem sempre refletem as suas perceções e opiniões e que, na grande maioria das vezes, parecem desfasadas das melhores práticas sugeridas pela investigação em comunicação. Os objetivos que levam os geocientistas a comunicar ou a forma como veem os seus públicos são sintomas disso. Há ainda uma clara tendência para enfatizar os défices de conhecimento público e para conceber o público como uniforme, passivo e influenciável, um resultado em linha com estudos de outras comunidades científicas.

As reduzidas competências e a falta de formação, aliadas à aparente autoconfiança, conduzem à adoção de estratégias empíricas baseadas em experiências

pessoais onde prevalecem as abordagens orientadas para contextos educativos. Estratégias bidirecionais de envolvimento, como fóruns de discussão ou debates públicos não são frequentes e é perceptível alguma resistência à mudança de paradigma. Esta relutância pode ser explicada pela falta de formação formal e pelo reduzido contacto com especialistas e estudos na área da comunicação. Estes resultados vêm também reforçar as conclusões obtidas através de análise bibliográfica prévia.

Os resultados obtidos, no contexto de um estudo mais amplo, irão sustentar o desenvolvimento de um quadro concetual para a investigação em comunicação de geociências que contribua para ultrapassar constrangimentos, conduzindo a uma comunicação mais eficaz entre os geocientistas e a sociedade. As particularidades desta comunidade aqui discutidas deverão ser os principais fatores a considerar na conceção de políticas de apoio e promoção do envolvimento dos geocientistas com o público, uma vez que identificam os aspetos específicos que serão mais suscetíveis de conduzir à promoção de resultados.

Agradecimentos: Este trabalho é apoiado pelo financiamento concedido pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., projectos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Entradas, M., Junqueira, L., & Pinto, B. (2020). The late bloom of (modern) science communication. *In: Broks, P., Gascoigne, T., Leach, J., Lewenstein, B. V., Massarani, L., Riedlinger, M., & Schiele, B. (org.). Communicating science: a global perspective*. ANU Press, 693-714. <http://doi.org/10.22459/CS.2020>
- Granado, A. & Malheiros, J. V. (2015). Cultura científica em Portugal. Fundação Francisco Manuel dos Santos. 99 p.
- Liverman, D. & Jaramillo, M. (2011). Communicating Environmental Geoscience – An International Survey. *Episodes*, 34, 25–31. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2011/v34i1/004>
- Rodrigues, J., Castro, C., Costa e Silva, E., & Pereira, D. I. (*in press*). Geoscientist's views about science communication: predicting willingness to communicate geoscience. *Geoscience Communicatio*.

Os Desafios da Comunicação de Geociências

The Challenges of Geoscience Communication

J. Rodrigues (1), E. Costa e Silva (2) e D. I. Pereira (3)

- (1) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, joana225@gmail.com
- (2) Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade, Universidade do Minho
- (3) Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho

Summary: *In the last twenty years, science communication research has made many relevant contributions in promoting more participatory processes in which society is asked to engage with science. Geoscience continues to be a scientific field distant from society and with little visibility, hindering the search for solutions to the challenges of sustainability on Earth. Geoscience Communication as discipline is still a very recent branch of Geoscience, but it can contribute to reduce this gap. It has been attracting some attention from practitioners and institutions, despite specific research being almost non-existent. It is necessary to rethink communication practices and to develop a conceptual framework for geoscience communication research, identifying the main challenges and opportunities. This study provides an overview that will contribute to develop strategies to improve geoscience communication, making it more frequent and more effective.*

Key words: *geoscience communication, science communication paradigms, public engagement, sustainability*

Palavras-chave: comunicação de geociências, paradigmas da comunicação de ciência, envolvimento do público, sustentabilidade

O objetivo deste trabalho é discutir a importância da comunicação de ciência no contexto das geociências, fornecendo uma visão geral do quadro conceptual e do atual estado da arte. Através de uma revisão bibliográfica exaustiva procedeu-se à identificação dos principais agentes, as práticas, os desafios, as oportunidades, refletindo sobre as principais linhas da agenda da investigação nesta área (Rodrigues et al., *in press*). Este trabalho enquadra-se numa investigação mais abrangente que procura encontrar formas de melhorar a comunicação de geociências, tornando-a mais frequente e mais eficaz.

O papel das Geociências na Sociedade tem-se intensificado com o aumento do impacto das atividades humanas no planeta e das vulnerabilidades face aos riscos naturais que se multiplicam com o crescimento exponencial da população a nível mundial. Consequentemente, aumentam desafios globais como a transição energética, gestão das águas subterrâneas, alterações climáticas, eventos naturais extremos, planeamento urbano ou proteção do património natural.

Apesar do importante contributo das Geociências e dos serviços dos ecossistemas prestados pela geodiversidade para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável proclamados pela Agenda 2030 das Nações Unidas, estes contributos são negligenciados. Sem dúvida que a subvalorização das

Geociências resulta principalmente das dificuldades de afirmação no espaço público, dificuldades essas que resultam, em grande medida, de deficientes estratégias de comunicação de ciência.

É hoje uma evidência que parte significativa da comunidade geocientífica e um grande número de instituições compreendem a importância da comunicação e são desenvolvidos, por toda a parte, importantes esforços, nomeadamente em entidades como os Museus, Centros de Ciência, Áreas Protegidas ou Geoparques Mundiais da UNESCO, locais onde a comunicação com públicos não especialistas é uma prioridade.

Contudo, a maioria destas iniciativas, mesmo as que recorrem a abordagens e tecnologias modernas, é concebida com base em experiência empírica e considerando paradigmas de comunicação já ultrapassados. A investigação em comunicação de ciência tem vindo progressivamente a repensar os modelos que se centram na falta de conhecimento científico do público que, durante muito tempo foi considerado como responsável pelo desfasamento entre a ciência e a sociedade. Estes modelos correspondem a estratégias unidirecionais de transferência, transmissão e tradução de informação, implementadas com o objetivo de disseminar ciência e educar o público e foram-se mostrando ineficazes.

Nesse sentido, as atitudes do público, os seus pontos de vista e preocupações devem ser valorizadas através de estratégias de 'envolvimento' e do estabelecimento de compromissos de diálogo entre a sociedade e a ciência, em que os não especialistas integram os seus conhecimentos e interesses na participação e tomada de decisões públicas (Burns et al. 2003).

Apesar desta grande mudança conceptual, os geocientistas veem ainda o público leigo como 'alunos' com conhecimentos insuficientes, a quem têm de transmitir informação científica, usando fundamentalmente estratégias educativas (formais e não formais). De um modo geral, os cientistas tendem a assumir que se conseguem comunicar os "factos", o público pensará e comportar-se-á como eles. Porém, esta percepção generalizada não tem em consideração que os públicos, além de diferentes níveis de conhecimento, têm interesses e contextos culturais e sociais próprios que moldam as suas legítimas percepções e a sua relação com a ciência. Desta forma, é necessário mudar o foco da comunicação de ciência dos 'factos' para as suas preocupações e implicações (Stewart & Lewis, 2017).

A 'Comunicação de Geociências', enquanto área de investigação, é uma disciplina ainda relativamente recente, em processo de formalização, que procura estabelecer metodologias sistemáticas, rigor académico e avaliação longitudinal, que necessariamente incorpora as áreas das ciências sociais, ciências do comportamento e a comunicação de ciência (Illingworth et al 2018).

A comunicação de ciência coloca aos geocientistas desafios específicos relacionados com a dimensão abstrata dos fenómenos, com as escalas temporais e espaciais ou com a complexidade dos sistemas terrestres e dos seus processos. Algumas áreas, por

exemplo, como os desastres naturais, alterações climáticas ou a exploração mineira lidam também com os desafios de comunicar risco, probabilidade e incerteza (Liverman et al 2008).

Através da revisão bibliográfica foi possível reconhecer que, na sua grande generalidade, as práticas de comunicação de geociências, se baseiam em estratégias empíricas, com reduzida fundamentação científica. A literatura revela que a maioria das estratégias correspondem a modelos tradicionais desatualizados não acompanham as principais tendências sugeridas pela investigação em comunicação.

São muitos, e de várias naturezas, os desafios da comunicação de geociências, mas o seu papel é fulcral para o envolvimento da sociedade na procura de soluções para os desafios de sustentabilidade no planeta. Mas esta busca não depende exclusivamente dos cientistas, do conhecimento científico ou dos decisores políticos. Todas as dimensões e implicações políticas, sociais e económicas que têm nos diversos agentes, no impacto que têm na vida de cada pessoa e na relação que essa pessoa estabelece com cada tema condicionam as soluções. Para isso, é necessário adotar novas formas de envolvimento com o público que reconheçam, respeitem e incorporem as diferenças de conhecimento, valores, perspectivas e objectivos, com estratégias de diálogo e participação.

A comunicação de geociências assume-se assim como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento sustentável e os geocientistas como agentes fundamentais para a mudança de paradigma de comunicação e consequente afirmação no espaço público.

Agradecimentos: Este trabalho é apoiado pelo financiamento concedido pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., projectos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020.

Referências

- Burns, T., O'Connor, J. & Stocklmayer, S. (2003). Science Communication: A contemporary Definition. *Public Understanding of Science*, 12, 183-202. <https://doi.org/10.1177/09636625030122004>
- Illingworth, S., Stewart, I., Tennant, J. & Elverfeldt, K. (2018). Editorial: Geoscience Communication – Building bridges, not walls. *Geoscience Communication*, 1, 1-7. <https://doi.org/10.5194/gc-1-1-2018>
- Liverman DG, Pereira C, Marker B (2008) Communicating Environmental Geoscience. *Geological Society, London, Special Publications*, 305(1). <https://doi.org/10.1144/SP305.1>
- Rodrigues, J., Costa e Silva, E. & Pereira, D. I. (in press). How can Geoscience Communication foster public engagement with Geoconservation? *Geoheritage*.
- Stewart, I. S. & Lewis, D. (2017). Communicating contested geoscience to the public: Moving from 'matters of fact' to 'matters of concern'. *Earth-Science Reviews*, 174, 122-133. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.003>

Geologia Urbana: outra forma de olhar para as cidades. O exemplo da Avenida dos Aliados (Porto)

Urban Geology: looking at cities in a different way. The example of Avenida dos Aliados (Porto)

M. Sousa (1) e F. Noronha (2)

- (1) Instituto de Ciências da Terra, Pólo-Porto, monica.sousa@fc.up.pt
(2) Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geociências Ambiente e Ordenamento do Território & Instituto de Ciências da Terra, Pólo-Porto

Summary: *An educational and scientific outreach resource, focused on the urban geology of Avenida dos Aliados (Porto), was developed to promote the observation of geological and geodiversity elements. It also intended to contribute to the scientific literacy of students and citizens and to demonstrate the importance of Geology and geodiversity to our Society. This type of resources and associated urban geology field trips can also contribute to the diversification of a city or region tourism offer, boosting innovation in the tourism sector, while contributing to an economy with high added value.*

Key words: *Urban Geology, geodiversity, scientific literacy, science communication, Geotourism*

Palavras-chave: Geologia Urbana, geodiversidade, literacia científica, comunicação de ciência, Geoturismo

A literacia científica dos cidadãos é fundamental para que sejam capazes de participar em processos de decisão relacionados com assuntos de dimensão científica.

Grande parte da educação científica é, inevitavelmente, da responsabilidade do sistema educativo, no entanto, a contribuição de ações e recursos de divulgação científica tem sido fundamental para o incremento da literacia dos cidadãos no domínio das ciências (Vasconcelos *et al.*, 2011). Destacam-se várias e diversificadas atividades de aprendizagem em contextos informais, promovidas por universidades e diversas organizações profissionais, científicas e de educação ambiental.

A educação informal ganhou uma extraordinária importância como elemento de promoção de atividades e recursos, que visam a melhoria da compreensão do público sobre Ciência e, também, como complemento do ensino formal.

Apresenta-se um exemplo de recurso educacional e de divulgação científica, que visa promover a observação de elementos de geologia e de geodiversidade em contexto urbano, e que serviu de apoio à realização de visitas escolares e de visitas para público geral na cidade do Porto, nomeadamente na Avenida dos Aliados [*e.g.* Programa Geologia no Verão e Rotas da Ciência – Roteiro da Geodiversidade (Porto Cidade de Ciência)].

O folheto (Fig. 1), desenvolvido em 2006, e o percurso de geologia urbana associado, evidenciam a estreita relação da cidade com o seu granito, o “Granito do Porto”, mostrando como este condicionou e contribuiu para o desenvolvimento urbanístico da cidade. Dão-se também a conhecer os vários tipos de rochas utilizadas na construção e ornamentação dos edifícios, bem como nos pavimentos e estátuas da “sala de visitas” da cidade invicta. Os elementos de geodiversidade identificados na Avenida dos Aliados incluem, igualmente, fósseis e minerais. Este conjunto de elementos geológicos permite explorar de forma diversificada os conteúdos científicos relacionados e aproximar os cidadãos e visitantes à Geologia.

Algumas características geológico-geotécnicas (alteração) do “Granito do Porto” são também exploradas, demonstrando o papel da água na alteração desta rocha, não só à superfície como em profundidade, e como elemento condicionante da construção. Outros agentes de alteração da pedra (*e.g.* sais solúveis, organismos vivos e poluentes atmosféricos) são também destacados.

A geomorfologia desta zona é, igualmente, um aspeto a salientar. A Praça da Liberdade, a Praça de Humberto Delgado e a Avenida dos Aliados encontram-se numa das zonas mais baixas da cidade com inclinação para sul. Por este motivo, os portugueses lhe chamam “A Baixa”.

A vertente científica é complementada com outras áreas do conhecimento como a História e a Arquitetura constituindo, assim, um excelente recurso de Geoturismo.

Este tipo de publicação e as atividades de ensino informal e de divulgação científica efetuadas em contexto urbano, constituem formas complementares e instrumentos valiosos para a promoção da literacia científica dos cidadãos e permitem demonstrar a importância da Geologia e da geodiversidade para a nossa Sociedade. Adicionalmente, podem contribuir para a diversificação da oferta turística de uma cidade ou região. De facto, o turismo na cidade do Porto tem crescido exponencialmente (Martins *et al.*, 2019),

desempenhando um papel cada vez mais importante na economia local. A importância do Porto como destino turístico é espelhada nos vários prémios internacionais que tem recebido: “Melhor Destino Europeu” em 2012, 2014 e 2017 (Invest Porto, 2023), “Melhor Escapadinha Urbana” em 2020, “Melhor Destino de Cidade da Europa” em 2022 e “Melhor Destino de Cidade do Mundo” em 2022 (World Travel Awards, 2023). As ofertas turísticas existentes e que incidem, sobretudo, no património cultural e arquitetónico e na gastronomia, podem ser complementadas com atividades de Geoturismo, dinamizando a inovação do setor, ao mesmo tempo que contribui para uma economia de alto valor acrescentado.

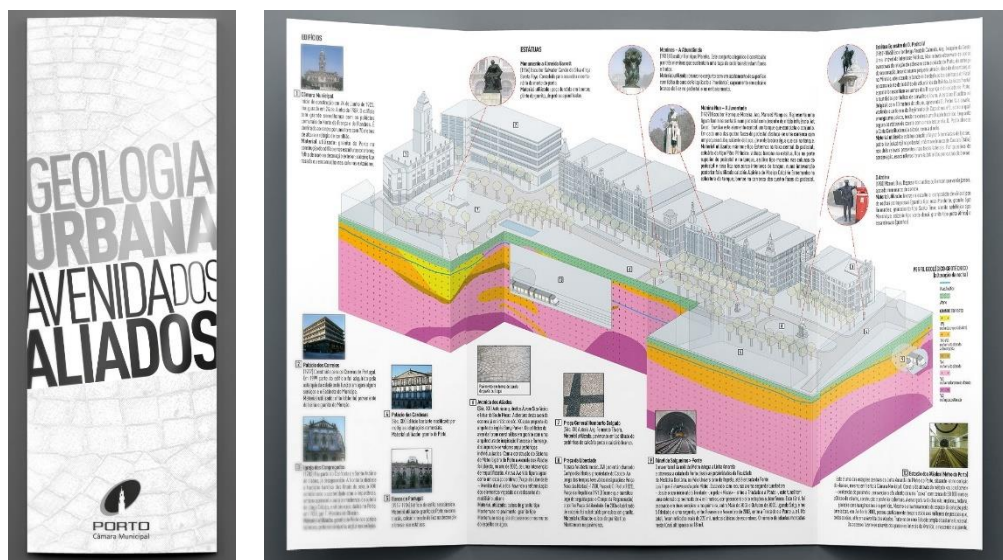


Fig. 1. Ilustração do folheto “Geologia Urbana: Avenida dos Aliados”.

Agradecimentos: Os autores agradecem o apoio da Câmara Municipal do Porto, do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e da Metro do Porto S.A, que forneceu os perfis geológico-geotécnicos.

Referências

- Invest Porto (2023). <https://www.investporto.pt/pt/setores/turismo/>, consultado em 08 de fevereiro de 2023.
- Martins, C.G. (2019). O Cenário Turístico no Porto e Norte de Portugal – Fatores de Atração do Turismo. Dissertação de Mestrado, 93p.
- Vasconcelos, C., Sousa, M., Aires, S., Ramos, V., Borges, L., Marques, M. & Noronha, F. (2011). School Science and Public Awareness: A Geological walk through time (Foz do Douro - Porto, Portugal). In C. Bruguière, A. Tiberghien & P. Clément (Eds.), E-Book Proceedings of the ESERA 2011 Conference: Science Learning and Citizenship. Part 8 (co-ed. Miriam Ossevoort and Graça Carvalho), (pp. 5p.). Lyon, France: European Science Education Research Association. ISBN: 978-9963-700-44-8. Symposium coordinated by Nir Orion, 145-149.
- World Travel Awards (2023). <https://www.worldtravelawards.com/profile-34429-porto-tourism>, consultado em 08 de fevereiro de 2023.

“Diamonds are forever”: O Museu Regional do Dundo e o papel da Geologia da Lunda no renascer de uma instituição histórica de Angola

“Diamonds are forever”: The Regional Museum of Dundo and the role of Lunda Geology in the rebirth of a historical institution in Angola

I. Tshibango-André (1,2), P. M. Callapez (2*,3), P. S. Andrade (4) e J. M. Brandão (2,5)

- (1) Diretor Geral do Museu Regional do Dundo, EN180, Dundo, Lunda Norte, Angola.
- (2) Universidade de Coimbra, CITEUC - Centro de investigação da Terra e do Espaço da Univ. Coimbra, FCTUC, Dep. Ciências da Terra da Univ. Coimbra, R. Sílvio Lima, Polo II, 3030-790 Coimbra. callapez@dct.uc.pt
- (3) Grupo de Investigación Paleolbérica, Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, España.
- (4) Universidade de Coimbra, CGeo - Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Dep. Ciências da Terra da Univ. Coimbra, Portugal.
- (5) HTC - História, Territórios e Comunidades, polo na NOVA FCSH do / Centro de Ecologia Funcional, Universidade de Coimbra

Summary: *The Dundo Regional Museum has a rich history of collections and research that goes back to the 1930's. Located in Northern Lunda (NE Angola), its existence was always related to the exploitation of Diamonds. Worldwide famous during the colonial period due to its rich ethnographical and archaeological collections, the institution closed after country independence, but rebirth with new strength in the last decade. Geology is playing nowadays an important part in the modern permanent exhibition, where stand out the themes of regional mineralogy, petrology, and diamond mining.*

Key words: *Dundo Regional Museum, history, new long duration exhibition, diamond geology, Northern Lunda (Angola)*

Palavras-chave: Museu Regional do Dundo, História, nova exposição de longa duração, geologia diamantífera, Lunda Norte (Angola)

O atual Museu Regional do Dundo (Fig. 1A) e primeiro a ser criado em Angola, embora passando por várias designações, foi fundado em 1936, pela DIAMANG, a Companhia de Diamantes de Angola, tendo por base coleções etnográficas efetuadas por José Redinha (1905-1983), a cujo nome ficou desde sempre ligado. Durante a ocupação colonial portuguesa, o museu foi-se expandindo de forma substancial, permitindo a salvaguarda de muito do património cultural e da memória histórica os povos da Lunda, e ligando as suas coleções a outras áreas do conhecimento científico, com destaque para a Arqueologia Pré-Histórica, a Zoologia e a Botânica. A edição de uma revista científica de grande qualidade, impressa em grande formato, a par de um acervo que ultrapassa os 20 000 objetos, muitos deles de grande raridade ou singularidade, permitiu, também, a colaboração de grandes vultos de renome para a época. Embora não sendo os fulcros principais, a Geologia e a mineração estiveram sempre presentes, ou não fosse a exploração diamantífera o suporte financeiro que, a montante, alimentava a dinâmica da instituição.

A partir de 1975, com a independência de Angola e os longos anos de guerra que se lhe seguiram, o museu limitou-se apenas à conservação do seu espólio e teve de encerrar, renascendo a partir de 2012, com a reabertura ao público e a oferta de uma nova

exposição de longa duração, e do respetivo catálogo. Neste quadro auspicioso, contando com os apoios governamental e da ENDIAMA E.P., o Museu Regional do Dundo tem vindo a recuperar significativamente o seu estatuto internacional, no qual se confere às áreas da Geologia da Lunda e da indústria mineira diamantífera uma dimensão bastante especial, também derivada do facto de estas áreas serem estratégicas para a economia angolana (Fig. 1B).

O interesse pelas coleções de minerais e rochas, por modelos de equipamentos utilizados em atividades de mineração de diamantes e, também, pelo acervo bibliográfico e documental, motivam o estudo em curso, realizado no âmbito do Doutoramento em Geologia do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra. Este também transcende o próprio espaço do museu, procurando locais de importância patrimonial, científica e educativa na multiplicidade da geologia regional, que possam servir como novas extensões/polos museológicos de campo e de recolha de amostras para ampliação das coleções existentes. Esta sempre foi uma das linhas diretrizes do museu, com destaque para a estação arqueológica de Bala-Bala, hoje em processo de recuperação, com os seus espantosos bifaces de tipo acheulense estudados por Henri Breuil (1877-1961).

Na sua configuração presente, a exposição permanente do Museu Regional do Dundo compreende um circuito com uma dezena de salas, cuja configuração temática é a seguinte:

A - Sala de apresentação, contendo um mapa guia das salas de exposição;



B - Sala 1, que abrange a Arqueologia Pré-Histórica, retratando a evolução do Homem, um modelo didático grande de uma gruta paleolítica e numeroso material lítico encontrado na região, incluindo muitos bifaces, *choppers*, pedras furadas, raspadores, etc.;



Fig. 1. A – Fachadas do Museu Regional do Dundo, construído c. 1948; B – Atual exposição permanente de Geologia (minerais, rochas e exploração diamantífera) do museu, aberta ao público desde 2012.

C - Sala 2, ligada com a organização social dos povos da Lunda, Arrund, Cokwe e povos circunvizinhos que habitam a região Leste de Angola. Compreende objetos de uso pessoal, como pontes, cachimbos, chapéus, postigos e pastas, para além da reconstituição de uma residência de arquitetura tradicional, com paredes pintadas de desenho mural;

D - Sala 3, relacionada com a organização política na sociedade Cokwe, em que se inclui a reconstituição da corte e do cota, uma imagem do soba Sakamanda e algumas peças do poder;

E - Sala 4, dedicada às atividades económicas tradicionais na sociedade Cokwe, destacando-se as atividades domésticas e de caça, representadas por objetos de uso quotidiano da mulher e por armadilhas. Seguem-se, em espaço anexo, a indústria e atividades económicas, onde se expõem um alambique e uma canoa tradicional, têxteis, uma oficina de ferreiro e um forno de fundição de ferro;

F - Sala 5, ligada às artes e atividades lúdicas, com uma coleção excecional de máscaras itinerantes, objetos de escultura, olaria e cestaria, e instrumentos musicais tradicionais;

G - Sala 6, de transição e exibição de filmes;

H - I - Sala 7, sob o tema das crenças religiosas, ritos de iniciação e medicina tradicional; Hall de entrada;

J - Sala 9, dedicada à Geologia e à indústria mineira do diamante. Esta está subdividida numa sala específica sobre os minerais e rochas da Lunda Norte, e a indústria mineira, contigua a um outro espaço, dedicado aos usos do diamante. Nestas salas expõem-se coleções de minerais e rochas, incluindo kimberlitos e outros materiais geológicos de interesse económico e/ou representativos da geologia regional. Seguem-se equipamentos destinados à prospeção e exploração diamantífera, bem como à separação e tratamento, incluindo brocas e coroas de perfuração, tarolos, um modelo didático de reconstituição de uma lavaria de pré-tratamento em meio denso para diamantes, modelos de lapidação de gemas e peças de peso e medição de diamantes;

L- Sala 10, alusiva à colonização e resistência.

Neste circuito, é óbvia a importância conferida à Geologia da Lunda Norte e à indústria mineira do diamante, como domínios expositivos estratégicos, facto que contrasta com a tradição histórica do museu, em que a Etnografia e a Arqueologia Pré-Histórica eram as áreas temáticas dominantes.

Agradecimentos: P.M. Callapez e P.S. Andrade agradecem à ENDIAMA E.P., Fundação Brilhante e Museu Regional do Dundo o suporte logístico e financeiro para a realização de viagens, trabalho de campo e de museu na região do Dundo. P.M. Callapez agradece ao CITEUC pelo apoio no âmbito do projeto estratégico da FCT, UID/Multi/00611/ 2020. P.S. Andrade agradece ao Centro de Geociências (CGeo) pelo apoio no âmbito dos projetos estratégicos da FCT, UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020.

As primeiras descrições dos fenómenos hidrominerais nos Açores: Gaspar Frutuoso (1522-1591) e a obra *Saudades da Terra*

The first descriptions of hydromineral phenomena in the Azores: Gaspar Frutuoso (1522-1591) and the *Saudades da Terra*

J. Virgílio Cruz (1) e A. Teresa Alves (2)

- (1) Faculdade de Ciências e Tecnologia e Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal (jose.vm.cruz@uac.pt)
(2) Faculdade de Ciências Humanas e Sociais, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal

Summary: *The volcanological nature of the Azores archipelago justifies the occurrence of numerous discharges of mineral water. These discharges immediately attracted the attention of the first settlers of the Azores, and the first references to the occurrence of thermal waters on the island of São Miguel are due to Gaspar Frutuoso (1522 – 1591). This author was an Azorean priest, graduated in Arts (1549) and in Theology (1558) from the University of Salamanca (Spain), which a few years later got the degree of doctor from an unknown institution. Returning permanently to the Azores in 1565, Gaspar Frutuoso began writing Saudades da Terra, an extensive historical narrative on the discovery and human occupation of the islands. The manuscript is divided into six books, and particularly in the Fourth Book, one can find exhaustive descriptions of hydrothermal manifestations, which even allow to identify areas widely studied centuries later and even differentiate the typologies of occurrences.*

Key words: Gaspar Frutuoso, mineral waters, volcanism, historical narrative, Azores

Palavras-chave: Gaspar Frutuoso, águas minerais, vulcanismo, narrativa histórica, Açores

A natureza geológica do arquipélago dos Açores explica a ocorrência de numerosas manifestações vulcânicas secundárias, entre as quais se destacam nascentes de água mineral, predominantemente termais ou frias gasocarbónicas, cuja caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica tem vindo a ser aprofundada nas últimas décadas (e.g. Cruz et al., 2010; Freire et al., 2015). Estas emergências de água mineral chamaram desde logo a atenção dos primeiros povoadores dos Açores, e as primeiras referências relativas à ocorrência de águas termais na ilha de São Miguel são de Gaspar Frutuoso na sua obra *Saudades da Terra*.

O Doutor Gaspar Frutuoso (1522 – 1591) foi um sacerdote açoriano, bacharel em Artes (1549) e em Teologia (1558) pela Universidade de Salamanca (Espanha), que, após regressar entre 1558 e 1560 à ilha de São Miguel, volta a Portugal continental, onde, para além de exercer o sacerdócio, alcança o grau de Doutor, estando ainda por determinar a instituição onde tal terá ocorrido (Rodrigo, 1991; Meneses, 2022).

Regressado definitivamente aos Açores (1565), Gaspar Frutuoso deu início à elaboração de uma extensa narrativa histórica relativa à descoberta e ocupação humana das ilhas que compõem o espaço

biogeográfico da Macaronésia, intitulada *Saudades da Terra*. Este manuscrito corresponde a um códice de 593 fólios, composto por cadernos numerados, predominantemente de formato 35x23 cm, e terá sido redigido a partir de 1580, praticamente ao longo da última década de vida de Gaspar Frutuoso (Rodrigo, 1991; Meneses, 2022).

O manuscrito subdivide-se em seis livros, complementado por uma narrativa alegórica (*Saudades do Céu*), e em particular no Livro Quarto, devotado particularmente à ilha de São Miguel, podem encontrar-se exaustivas descrições das manifestações hidrotermais, as quais permitem inclusivamente identificar áreas amplamente estudadas séculos depois e inclusivamente diferenciar as tipologias das ocorrências.

As descrições das manifestações hidrominerais efetuadas por Gaspar Frutuoso estão pontuadas por alusões às principais linhas de entendimento sobre o fenómeno do vulcanismo suas contemporâneas, e em particular sobre qual a origem do calor interno da Terra que justificaria a fusão das rochas e a consequente ocorrência de águas termais.

Um exemplo destas descrições diz respeito à atualmente designada nascente da Ferraria, na

extremidade W de São Miguel: (...) *Ao pé deste pico junto do dito cais, para a banda de leste, sai uma formosa ribeira, de água tão quente que nela se pelam leitões, coze peixe e escascam lapas, que ali se criam nas pedras; a qual ribeira se cobre com a maré cheia, mas com ela vazia mostra bem sua grandeza, doçura e queentura; é tão grande que pode com ela moer uma azenha* (...) (Livro IV, cap. XLIV).

A propósito desta área, Gaspar Frutuoso revela uma clara percepção da circulação da água, e tenta associar o aumento da temperatura da água ao resultado do calor decorrente da combustão de algumas matérias, aludindo, assim, à conceção do fenómeno vulcânico que prevaleceu até aos finais do século XVII: (...) *e suspeitam alguns que vai das Sete Cidades, dali meia légua; e ainda que as alagoas que há na concavidade das Sete Cidades sejam de água fria, por debaixo da terra, em alguns vieiros de enxofre ou salitre, parece que se vai aquecendo e cobra fogo, e por isso ao longo do mar sai quente.* (...) *Donde parece que, além de haver naquele alto pico muitas veias de enxofre, marquesita e pedra hume, por ventura algum salitre, há também veia de ferro e outros líquidos metais* (...) (Livro IV, cap. XLIV).

Ressalva-se, contudo, que a conceção do ciclo hidrológico patente nas descrições de Gaspar Frutuoso é ainda predominantemente influenciada pela visão dominante na antiguidade clássica, na medida que ainda ressoam alusões à hipótese da filtração da água do mar ((...) *cuidando que o mar por debaixo da terra se comunica com estas bocas* (...); Livro IV, cap. XLIX) e à da condensação de vapor de água no interior da Terra ((...) *Mas, outras fontes e águas se geram e criam em algumas cavernas e lugares da terra, do ar que nelas (entrando pelos meatos dela) está encerrado e se vai de novo encerrando, que lá se congela e converte em água;* (...); Livro IV, cap. XXXIV).

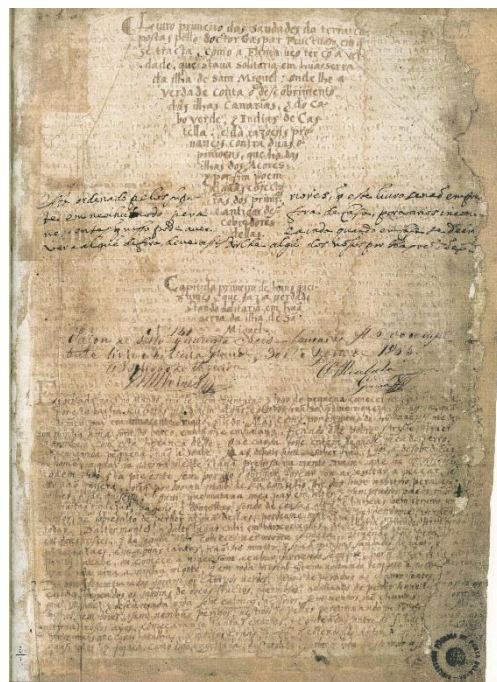


Fig. 1. Frontispício do manuscrito Saudades da Terra.

Gaspar Frutuoso revela, igualmente, uma preocupação com a descrição qualitativa das águas. Merece menção a qualificação de algumas águas, como por exemplo (...) *Estava abaixo do caminho uma fonte, que parecia de vinagre temperado com água* (...) (Livro VI, cap. XLV), ou (...) *para a dita fonte e concavidade do monte se abriam comissuras e veias de pedra hume e enxofre, que inficionaram e corromperam a dita água, que agora é grossa e cheira a lodo, e muitos anos depois do terremoto fedia a enxofre e se sentia nela fodor de pedra hume* (...) (Livro IV, cap. XLIVI).

São patentes, ainda, referências à utilização terapêutica das águas, nomeadamente na zona das Furnas: (...) *Na qual Ribeira Quente se curam muitas pessoas de flegma, salsa e sarna e outras enfermidades, tomando nela banhos, sem mais outros suadouros;* (...) (Livro VI, cap. XLIX).

Referências

- Cruz, J.V., Freire, P. & Costa, A. (2010) – Mineral waters characterization in the Azores archipelago (Portugal). J. Volcanol. Geother. Res, 190, 353-364.
- Freire, P., Andrade, C., Viveiros, F., Silva, C., Coutinho, R. & Cruz, J.V. (2015). Mineral water occurrence and geochemistry in the Azores volcanic archipelago (Portugal): insight from an extended database on water chemistry. Environ. Sci., 73, 2749-2762.
- Frutuoso, G. (1998). Saudades da Terra. Instituto Cultural de Ponta Delgada, Ponta Delgada.
- Meneses, A.F. (2022). Gaspar Frutuoso. O homem e a obra. Letras Lavadas, Ponta Delgada.
- Rodrigues, R. (1991). Notícia biográfica do Dr. Gaspar Frutuoso. Instituto Cultural de Ponta Delgada, Ponta Delgada.

SESSÃO CIENTÍFICA 19 (SC_19)
(Cartografia Geológica)

Conveners: Rui Dias; Maria dos Anjos Ribeiro; Nuno Alte da Veiga

Cartografia de uma zona de falha em terrenos graníticos com recurso a métodos geofísicos

Mapping a fault zone in a granitic terrain using geophysical methods

N. Alte da Veiga (1)

(1) Universidade de Coimbra, CITEUC, Departamento de Ciências da Terra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal, ndaveiga@ci.uc.pt

Summary: *In the execution of geological mapping, the observation conditions may be insufficient to attain the desired detail and results. In such circumstances, the use of geophysical methods may allow to overcome existing limitations. The present case concerns an area near the small town of Arcozelo (Gouveia), in centre-northern Portugal. In this area, the dominant lithology corresponds to hercynian medium to coarse-grained granites. There are also Paleogene sediments constituted by coarse, feldspathic arenites, with argillaceous matrix, and alluvial deposits are present in the bottom of the local valley. In this area, a large fault zone is present in the junction of two NNE-SSW and NE-SW trending faults. Besides the eastern limit between the alluvium and the granites, the observation conditions of other unit limits and fault-related limits are generally poor. VLF-R, electrical resistivity profiling and earth resistivity imaging methods have successfully been used to put in evidence those limits.*

Key words: *geological mapping, granite, fault zone, electrical resistivity, VLF-R*

Palavras-chave: cartografia geológica, granito, zona de falha, resistividade eléctrica, VLF-R

Na realização de cartografia geológica deparamo-nos frequentemente com zonas do terreno em que as condições de observação são difíceis. Tal poderá não constituir um entrave de maior se a escala de trabalho for de pormenor relativamente reduzido; em várias ocasiões haverá lateralmente locais onde essa observação será possível. Contudo, quando se pretende incidir com maior pormenor numa determinada área, condições de observação pobres, ou, não o sendo em absoluto, insuficientes para a escala de trabalho pretendida, são no geral acentuadamente limitativas. Numa tal circunstância, o uso de métodos geofísicos pode constituir uma mais-valia efectiva.

De entre os diversos métodos geofísicos, alguns adaptam-se melhor a esta tarefa que outros. Desde logo, a possibilidade de utilização de um dado método geofísico deriva da existência de contraste na propriedade física relevante/no parâmetro medido. O método utilizado deverá permitir também uma cadência de medição razoavelmente rápida, bem como uma boa discriminação de variações laterais no terreno, ou seja, que tais variações se repercutam no parâmetro medido de forma suficientemente imediata, em termos espaciais, e suficientemente acentuada. No geral, há um grupo de métodos electromagnéticos que se enquadra bem nestes requisitos; métodos de resistividade eléctrica também têm características, nomeadamente de versatilidade

quanto à escolha dos comprimentos de linha, que fazem com que sejam uma boa possibilidade de escolha.

É neste contexto que se enquadra a cartografia de uma área nas proximidades da povoação de Arcozelo, concelho de Gouveia. Na elaboração da carta em causa concorreram levantamentos realizados com diversos métodos geofísicos, maioritariamente VLF-R e perfis de resistividade aparente com um comprimento de linha AB = 20 m (dispositivo Schlumberger); houve também uma contribuição de levantamentos com métodos de resistividade eléctrica 2D.

A área circundante à povoação de Arcozelo enquadra-se regionalmente na zona de sopé da Serra da Estrela, em posição relativamente distal, já próxima do rio Mondego. Em termos de enquadramento geológico geral, nesta região de sopé afloram predominantemente rochas graníticas, formando duas manchas principais, correspondendo uma a um granito de grão grosseiro e a outra a um granito de grão médio (ou médio a grosseiro), ambos monzoníticos, porfiróides, de duas micas, com predominância da biotite, tardi a pós-tectónicos (Teixeira *et al.*, 1967; Severo Gonçalves *et al.*, 1990). Nesta região ocorre também, em algumas manchas dispersas e com menor extensão, a unidade "Arcoses de Coja", atribuída ao Paleogénico (Cunha, 1992, 1999), constituída por arenitos grosseiros, feldspáticos, de matriz argilosa, que assentam em

superfície de aplanamento sobre o soco. No sopé do relevo montanhoso, definido pela falha inversa de Lousã-Seia, existem depósitos de blocos de granito, pertencentes ao Grupo de Sacões. Estes depósitos de leque aluvial são correlativos das várias fases de levantamento do relevo nos últimos ca. 9,7 Ma (Cunha, 2019).

Morfologicamente, na área de Arcozelo desenha-se um vale, com alongamento SW-NE, com uma parte baixa razoavelmente ampla, sita sensivelmente a uma cota de 350 m, e encostas com declive mais acentuado a ocidente e mais suave pelo lado oriental. Em termos litológicos, afloram os granitos de grão médio (ou médio a grosseiro) acima mencionados, os arenitos grosseiros, feldspáticos, de matriz argilosa e, na zona baixa do vale, ocorrem ainda aluviões.

Em termos meramente descritivos, diremos que neste vale ocorre a junção em “Y” de duas falhas; uma, por ocidente, com orientação geral N20°-30°E, e uma segunda, por oriente, com orientação geral N45°E. Nesta junção gera-se uma zona de falha que na sua maior largura ultrapassa os 400 m.

O limite entre aluviões e granito observa-se razoavelmente bem no lado oriental do vale. Todos os outros limites são eventualmente observáveis localmente, mas, no geral, ou se observam muito sofrivelmente ou não são de todo observáveis. E, no que diz respeito aos limites da zona de falha, esses são

ocultos ou não observáveis na esmagadora maioria (ou quase totalidade) dos casos.

Dada a reduzida profundidade de investigação do dispositivo AB = 20 m, com base na carta de resistividades aparentes gerada (Alte da Veiga, 2012) foi possível estabelecer o limite entre as aluviões e os arenitos de matriz argilosa, a norte e em grande parte a oeste, tendo em conta o facto destes arenitos argilosos apresentarem caracteristicamente uma resistividade aparente mais baixa que as aluviões. Os limites da zona de falha foram estabelecidos com VLF-R, tendo sido também este método que permitiu a cartografia de parte da mancha de arenitos argilosos e a localização dos contactos entre estes e o granito (conjuntamente com observação visual, no que diz respeito aos arenitos argilosos). As duas falhas atrás mencionadas convergem para SW, abrindo, por conseguinte, em sentido contrário – a zona de falha alarga para NE até um ponto em que, ultrapassando os 400 m de largura, começa a fechar para N, inflectindo posteriormente para NNW.

A título de notas finais, há a sublinhar que os métodos geofísicos acima mencionados permitiram com sucesso a cartografia das manchas de aluviões e arenitos argilosos existentes nesta área, em particular dos seus limites, entre si e com o granito, bem como dos elementos estruturais principais ligados à fracturação na zona.

Referências

- Alte da Veiga, N.M.S. (2012). The use of geophysical electrical methods in the characterization of an alluvial aquifer in a crystalline rock environment. *In*: M. Quinta-Ferreira, M.T. Barata, F.C. Lopes, A.I. Andrade, M.H. Henriques, R. Pena dos Reis & E. Ivo Alves (coords.). *Para Desenvolver a Terra*. Memórias e Notícias de Geociências no Espaço Lusófono. Imprensa da Universidade de Coimbra, 265-274.
- Cunha, P.P. (1992). Estratigrafia e sedimentologia dos depósitos do Cretácico Superior e Terciário de Portugal Central, a leste de Coimbra. Dissertação de Doutoramento em Ciências, na Universidade de Coimbra (especialidade de Estratigrafia, Paleontologia e Geoistória), Coimbra.
- Cunha, P.P. (1999). Unidades litostratigráficas do Terciário na região de Miranda do Corvo-Viseu (Bacia do Mondego - Portugal). *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, 86, 143-196.
- Cunha, P.P. (2019). Cenozoic Basins of Western Iberia: Mondego, Lower Tejo and Alvalade basins. *In*: C. Quesada & J.T. Oliveira (eds.). *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach*. Regional Geology Reviews, Springer International Publishing, 105-130. DOI: 10.1007/978-3-030-11190-8.
- Severo Gonçalves, L., Araújo, J.R.F., Ferreira Pinto, A.F., Fonseca, E.C. & Serrano Pinto, M.C. (1990). Folha 17-B Fornos de Algodres da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Teixeira C., Brito de Carvalho, L.H., Paula Santos, J., Martins Peres, A. & Barros, R.F. (Coords.) (1967). Notícia Explicativa da Folha 17-D Gouveia da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Cartografia Geológica aplicada: Estudo de Impacte Ambiental da Quinta do Carmo (Estremoz)

Applied geological mapping: Environmental Impact Study of Quinta do Carmo (Estremoz)

A. Araújo (1), N. Moreira (2) e T. Batista (3)

- (1) Dep. Geociências, ECT Univ. de Évora, Instituto Ciências da Terra (ICT) - Polo de Évora, aaaraujo@uevora.pt
- (2) Instituto de Investigação e Formação Avançada (IIFA) - Univ. de Évora, ICT - Polo de Évora
- (3) IIFA - Univ. de Évora, Instituto Mediterrâneo para a Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento (MED), Pólo da Mitra, Apartado 94, 7006-554 Évora, Portugal

Summary: *In the framework of the environmental impact study conducted for the implementation of an eco-tourism project at Quinta do Carmo (Estremoz), a local detailed geological study was carried out. In this study, implemented by a multidisciplinary team, the “geology team” was responsible for the geological mapping, geomorphological characterization and identification of geological resources. Taking into account that the existing geological maps are in small scale (sheet 6 of the Geological Map of Portugal at 1/200000 scale), or old and partly outdated (sheets 36-B Estremoz and 36-D Redondo of the Geological Map of Portugal at 1/50000 scale), it was chosen to make a new geological map of the whole study area at scale 1/10000. This cartography allowed the review of the lithostratigraphy of the area, the interpretation of the structure and geomorphology of the region, the identification of mineral occurrences and the identification of landscape and geological heritage points of interest.*

Key words: *environmental impact study, Ossa-Morena Zone, Geological mapping*

Palavras-chave: Estudo de impacte Ambiental, Zona de Ossa-Morena, Cartografia Geológica

No âmbito da implementação do projeto de Eco-turismo e Barragem para a Quinta do Carmo (Concelho de Estremoz, Freguesia da Glória) foi necessário a caracterização multidisciplinar e transversal desta região tendo como fim a elaboração do estudo de impacte ambiental. Face aos objetivos específicos propostos pelo projeto, e uma vez que a cartografia oficial existente se encontra desatualizada (caso da cartografia 1/50000) ou, estando atualizada, é de pequena escala (caso da cartografia 1/200000), foi necessário a elaboração de um levantamento geológico-estrutural à escala 1/10000 de toda a área da quinta (cerca de 10 km²). Os trabalhos foram realizados entre setembro de 2021 e março de 2022. Do ponto de vista geológico, a Quinta do Carmo situa-se na Zona de Ossa-Morena, mais concretamente no Sector de Estremoz-Barrancos e, como tal, foi usada como referência a sucessão litoestratigráfica geral revista e publicada para o sector (Oliveira *et al.*, 1991, Araújo *et al.*, 2013). Para além dos levantamentos de campo foram também feitas observações de carácter geomorfológico, com recolha de informação *in situ*. A informação geológica e geomorfológica recolhida foi complementada com dados bibliográficos, análise de mapas topográficos e imagem de satélite, recorrendo ao *Google Earth*.

Relativamente à Geomorfologia, a área da Quinta do Carmo, alongada segundo uma direção NE-SW, abrange três importantes unidades geomorfológicas: (1) o planalto de Estremoz a NE, (2) a depressão de Terena na parte central e (3) a Serra de Ossa, a SW. Embora em trabalhos anteriores seja referida a possibilidade de alguns degraus topográficos poderem corresponder a escarpas de origem tectónica, a maioria destes acidentes topográficos parecem resultar de fenómenos de erosão diferencial. Durante o trabalho de campo não foram encontradas evidências de atividade tectónica recente associada às falhas cartografadas. A existência de áreas aplanadas com cotas ligeiramente inferiores a 400 m de um e outro lado da depressão de Terena aponta também neste sentido.

No que se refere ao levantamento geológico-estrutural efetuado, do qual resulta o mapa geológico à escala 1/10000 e o perfil geológico-estrutural interpretativo (Fig. 1), foram levantados mais de uma dezena de limites geológicos, analisada a sua natureza, definidas 11 unidades cartográficas e recolhidos mais de um milhar de dados estruturais.

Relativamente à estrutura fez-se a análise geométrica das estruturas planares e lineares recolhidas. A estratificação e a foliação apresentam uma geometria

muito próxima no caso das rochas xistentas (atitudes médias de N135°, 78°S e N137°, 79°S respetivamente), estando a estratificação menos inclinada no caso das rochas carbonatadas (N139°, 59°S). Foram ainda identificadas outras estruturas planares, nomeadamente falhas, filões, veios de quartzo ou calcite, mas merecem particular destaque as fraturas e bandas *kink*, que cortam a foliação, apresentando claramente um carácter mais tardio e frágil. As fraturas e bandas *kink* são geralmente subverticais, apresentando alguma dispersão na sua orientação mas com um claro predomínio de direções NE-SW, subperpendiculares à estrutura regional.

Todas estas estruturas planares foram sistematicamente identificadas em todas as formações de idade paleozóica, pelo que sua geometria foi particularmente relevante nos estudos geotécnicos e hidrogeológicos subsequentes.

Foram igualmente analisadas estruturas lineares, eixos de dobras e lineações de interseção, que mergulham preferencialmente para o quadrante SE. À escala regional esta geometria é coerente com as terminações periclinais das macroestruturas, o Anticlinal de Estremoz e o Sinclinal de Terena (Fig 1). Relativamente aos recursos geológicos, a região é conhecida a nível internacional pelos Mármore de Estremoz. Apesar do levantamento geológico

identificar pequenas manchas de mármore, próximo do limite NE da Quinta, os mármore são de baixa qualidade, sendo escassas as evidências de exploração deste georrecurso na Quinta do Carmo. Outros materiais geológicos com potencial interesse são as lajes de xisto da Formação de Barrancos que terão sido exploradas, de forma artesanal, na área em estudo. Destaca-se ainda a presença de um conjunto de ocorrências de minerais metálicos (óxidos de ferro resultantes da alteração de sulfuretos) disseminados em xistos negros silúricos ou associados a filões de quartzo e a zonas de falha. Estas ocorrências são sempre de muito pequena dimensão.

Por fim identificaram-se alguns locais com interesse em termos paisagísticos e de património geológico-mineiro para os quais se apresentou um conjunto de propostas para a sua valorização no âmbito do projeto de Eco-Turismo da Quinta do Carmo.

Regra geral os estudos de impacte ambiental recorrem à Cartografia Geológica existente e a componente da Geologia restringe-se à análise de informação bibliográfica, sendo a componente de trabalho de campo geralmente residual. No presente trabalho contrariou-se este tipo de abordagem e a realização de Cartografia Geológica de base representou uma importante mais-valia para este estudo de impacte ambiental.

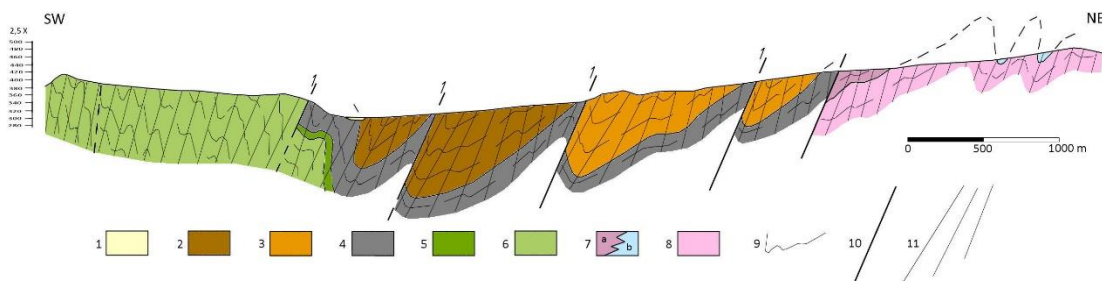


Fig. 1 Corte geológico-estrutural ilustrando a estrutura geral na área da Quinta do Carmo. 1 – Coluvião; 2 – Formação de Terena; 3 – Formação dos Xistos Raiados; 4 – Xistos Negros com líditos; 5 – Formação da Colorada; 6 – Formação de Barrancos; 7a – Dolomias secundárias; 7b – Mármore calcíticos; 8 – Mármore dolomíticos; 9 – Estratificação (S_0); 10 – Falha; 11 – Foliação.

Agradecimentos: Os autores agradecem o suporte financeiro concedido pela Sociedade Agrícola Quinta do Carmo, S.A. e pela FCT, através do financiamento plurianual UIDB/04683/2020 (Instituto de Ciências da Terra).

Referências

- Araújo, A., Piçarra, J.M., Borrego, J., Pedro, J. & Oliveira, J.T. (2013). As Regiões Central e sul da Zona de Ossa Morena. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. & Kullberg, J.C (eds.). *Geologia Pré-mesozóica de Portugal*. Escolar Editora, 1, 509-549.
- Oliveira, J.T., Oliveira, V., Piçarra, J.M. (1991). Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena, em Portugal: síntese crítica do estado actual dos conhecimentos. *Com. Serv. Geol. Portugal* 77, 3-26.

Contribuição para a melhoria da cartografia geológica da Bacia Carbonífera do Buçaco

Contribution to the improvement of the Buçaco Carboniferous Basin geological mapping

P. Ferreira (1) e J. Romão (1)

(1) UGHGC, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG, Portugal, paulo.ferreira@lneg.pt

Summary: *The geological cartography review of the area where the Buçaco Carboniferous Basin (BCB) is located showed that its limits are either strongly tectonized or in angular discordance over Neoproterozoic and Paleozoic lithology's. Mesocenoic sediments mapped also settle limits with the BCB units. At the eastern limit of the basin, a normal fault generated in an extensional regime was identified, active during the deposition of lithostratigraphic units dated from the Gzhelian, while at the opposite limit, a tangential compressive tectonic was identified (ENE-WSW direction), with material transport to ENE, posterior to the predecessor event. The described tectonic episodes are associated with the final stages of the Variscan Orogeny.*

Key words: *Buçaco Carboniferous Basin, geological mapping, lithostratigraphic and tectonics limits, structure*

Palavras-chave: Bacia Carbonífera do Buçaco, cartografia geológica, limites litoestratigráficos e tectónicos, estrutura.

Introdução

A Bacia Carbonífera do Buçaco (BCB) aflora em áreas dispersas a nordeste de Coimbra numa extensão de cerca de 30 Km, com orientação próxima do N-S. Esta bacia intra-montanhosa insere-se no sector oriental da Zona de Cisalhamento de Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo, com uma largura muito variável (0,5 a 2 km), truncando o extremo NW do sinclinal paleozoico do Buçaco. É delimitada, na sua margem ocidental, por contactos irregulares com várias formações geológicas do Mesozoico e Paleozoico e, no sector oriental, por limites relativamente retilíneos com o Grupo das Beiras e unidades do Paleozoico.

Os limites entre a sucessão litoestratigráfica continental da BCB e as formações mais antigas, já estruturadas pelas principais fases de deformação varisca, antes da deposição da referida sucessão, são de distinta natureza. O contacto oriental é feito com o Grupo das Beiras ou com diferentes níveis estratigráficos da sucessão ordovícico-silúrica do Sinclinal do Buçaco e tem sido considerado, regra geral, uma discordância angular que fossiliza um paleorelevo. O seu contacto ocidental, com filitos do Terreno Finisterra, datados do Devónico Superior (Chaminé *et al.*, 2003), é marcado por tectónica compressiva associada às fases finais da Orogenia Varisca.

A BCB foi estudada por inúmeros autores, nomeadamente, Wagner (1983) e Machado *et al.* (2018), que a datou do Carbónico Superior (Pennsylvânico) com base em fósseis vegetais e Aguado *et al.* (2013), que a organizou numa sucessão de unidades litoestratigráficas tendo, ainda, definido

um modelo sedimentar para a sua deposição claramente condicionado pela tectónica. Domingos *et al.* (1983) e Gama Pereira *et al.* (2008) definiram os traços gerais da organização estrutural da BCB, identificando dobramentos gerados por deformação compressiva, com desenvolvimento de falhas de pendor suave para SW, que indiciam transporte de material de SW para NE, sem clivagem associada. A maioria dos estudos efetuados tiveram como suporte a cartografia elaborada por Nery Delgado em 1908, publicada, a título póstumo, por Carrington da Costa (1950).

Este trabalho tem como propósito contribuir para a melhoria da cartografia geológica da BCB, tendo-se dado particular ênfase aos limites com as unidades geológicas vizinhas. Esta revisão cartográfica enquadra-se no âmbito da preparação da Folha 3 da Carta Geológica de Portugal, na escala 1/ 200 000.

Novos dados cartográficos

Tendo por base os dados já disponíveis sobre as unidades litoestratigráficas que integram a BCB, iniciou-se a revisão dos seus limites geológicos a partir de uma base topográfica 1/25 000.

A observação da figura 1 permite constatar que os afloramentos da BCB se distribuem por 3 áreas designadas, de norte para sul, por Bolfiar, Luso e Santa Cristina. Os contactos com o bordo ocidental da BCB ocorrem, maioritariamente, com formações do mesocenoicas da Bacia Lusitaniana, que se sobrepõem em discordância angular cartográfica sobre as litologias da BCB. Porém, na zona do Luso e na extremidade sul de Santa Cristina os limites, do bordo oeste da BCB, correspondem aos

cavalgamentos do Buçaco e do Monte Redondo, ambos com atitude geral NNW-SSE, 40°-65°SW. Estes cavalgamentos são responsáveis pelo deslocamento de litologias muito deformadas do Terreno Finisterra sobre os depósitos continentais da BCB, consequência de movimentos compressivos ENE-WSW, posteriores ao Pennsylvânico (Gzheliano) (Machado *et al.*, 2018). O contacto oriental da BCB, no sector do Luso, é marcado pela falha Póvoa do Gago/Salgueiral (Fig. 1), de atitude geral NNW-SSE, 65°-85°SW, que coloca as unidades carboníferas, presentes no bloco ocidental abatido, em contacto com litologias xistentas, eventualmente da Formação de Brejo Fundeiro, do Ordovício Médio e xisto-grauváquicas do Grupo das Beiras, do Neoproterozoico. Este acidente, ativo durante o enchimento da BCB, foi gerado em regime distensivo.

Mais a sul, no sector Santa Cristina, foi reconhecida a sobreposição dos conglomerados e arenitos do Gzheliano, por discordância angular, sobre os metassedimentos das unidades ordovícicas e do Grupo das Beiras, a oriente.

O setor de Bolfiar é o que apresenta uma extensão cartográfica mais reduzida, quase totalmente limitado por xistos, intercalados por bancadas finas quartzíticas ou quartzoareníticas, ainda indiferenciados, com exceção de uma pequena área mais a norte limitada por depósitos de cobertura.

Considerações finais

A sucessão sedimentar continental e intramontanhosa da BCB, depositada durante Gzheliano (Machado *et al.*, 2018), sofreu um forte controlo estrutural e, mais tarde, deformação compressiva.

A identificação e representação cartográfica da falha normal de Póvoa do Gago/Salgueiral, localizada ao longo do limite oriental da BCB, numa extensão de pelo menos 10 km, sugerem a presença de um regime distensivo contemporâneo da sedimentação da sequência litoestratigráfica na referida bacia.

Posteriormente, o regime tectónico distensivo inverteu-se, passando a compressivo, manifestando-se pela presença dos cavalgamentos do Buçaco e do Monte Redondo e, localmente, por acidentes de baixo ângulo e reduzida extensão e estrias nos planos de estratificação das unidades da BCB. Estes dois episódios tectónicos estão relacionados com as fases finais da Orogenia Varisca. Estes dados sugerem o transporte dos filitos e dos materiais carboníferos para ENE. Os dados de campo apontam para que o regime compressivo seja posterior à idade da sucessão da BCB, ou seja, eventualmente de idade pérmica.

Referências

Carirington da Costa (1950). Notícia sobre uma carta geológica do Buçaco de Nery Delgado. Serv. Geol. Port. Chaminié, H., Gama Pereira, L.C., Fonseca, P.E., Moço, L.P., Fernandes, J.P., Rocha, F.T., Flores, D., Pinto de Jesus, A., Gomes, C., Soares de Andrade, A.A. & Araújo, A. (2003).

“Tectonostratigraphy of middle and upper Palaeozoic black-shales from the Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo shear zone (W Portugal): New perspectives on the Iberian Massif”. *Geobios*, 36(6), 649-663.

Domingos, C.G., Freire, L.S., Silva, F.G., Gonçalves, F., Pereira, E. & Ribeiro, A. (1983). The structure of intramontane upper Carboniferous Basins in Portugal. In: M.L. Sousa & J.T. Oliveira (eds). *The Carboniferous of Portugal*. Mem. Serv. Geol. Portugal, 29, 187-194.

Gama Pereira, L.C., Pina, B., Flores, D. & Ribeiro, M.A. (2008). Bacia “Permo-Carbónica” do Buçaco – Um modelo de “pull-apart”. *GGET’2008 – 8ª Conferência Anual (Porto)*, 110-113.

Machado, G., Vavrdová, M., Fonseca, M., Fonseca, P.E. & Rocha, F. (2018). Stratigraphy and Paleontology of the Pennsylvanian continental Buçaco Basin (NW Iberia). *Geobios*, <http://doi.org/10.1016/j.geobios.2018.07.001>

Valle Aguado, B., Azevedo, M. & Gonçalves, R. (2013). A sedimentação carbonífera na Bacia do Buçaco (Centro de Portugal). In: R. Dias, A. Araújo; P. Terrinha & J. C. Kullberg (eds.). *Geologia Pré-mesozoica*. Escolar Editora, 1, 259-27.

Wagner, H. (1983). The Palaeogeographical and age relationships of the Portuguese Carboniferous floras with those of other parts of the Western Iberian Peninsula. In: Sousa e Oliveira (eds). *The Carboniferous of Portugal*. Mem. Serv. Geol., 29, 153-177.

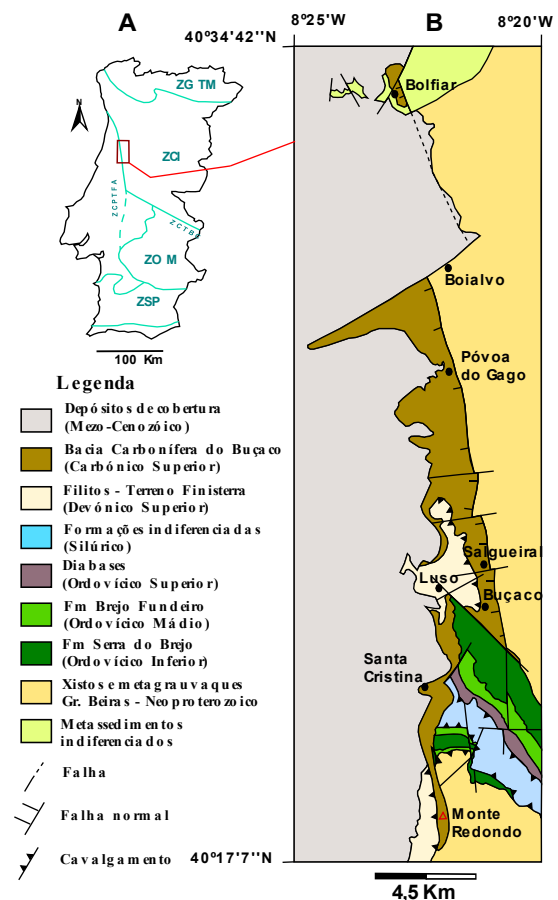


Fig. 1. (A) Unidades geotectónicas de Portugal e localização da BCB; (B) Esboço com os limites litoestratigráficos e estruturais da BCB.

Reinterpretação e homogeneização da cartografia geológica da região de Montalegre-Tourém

Reinterpretation and homogenization of geological mapping of the Montalegre-Tourém region

C .A. Freitas (1), T. Bento dos Santos (1,2), I. Pereira (3)

- (1) Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal, superiorCF@outlook.pt
- (2) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal
- (3) Departamento de Ciências da Terra e Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Portugal

Summary: *This work presents and discusses the application of an approach to reuse and reinterpret old published geological mapping using the Gerês Migmatitic Complex (N Portugal – Galiza, Spain) as a case study. We focus our analysis on the high-grade units of this complex, re-analyzing the old nomenclature and descriptions and applying modern concepts and terminology, separating metatexites, diatexites and granites. We then use GIS software to unify the different freely available geological maps from LNEG and IGME. The office version of the revised map was then tested by conducting fieldwork on a segment of the map, achieving a 96% success rate. We conclude that this approach is a fast and modern way to provide updated geological mapping in areas where published, but outdated, geological maps already exist. This allows subsequent fieldwork to be optimized, setting target areas for validation and to collect new data.*

Key words: *geological mapping, cartographic homogenization, remote analysis, migmatites*

Palavras-chave: cartografia geológica, homogeneização cartográfica, análise remota, migmatitos

A cartografia geológica em Portugal desenvolveu-se a um ritmo acelerado a partir da década de 1950 com a definição da subdivisão do território nacional em 175 cartas geológicas à escala 1/50000, das quais 39 ainda estão por publicar. Mesmo considerando que muitas cartas geológicas assentam em trabalho de campo realizado há mais de 40 anos, o nível de detalhe da cartografia e das descrições das respetivas Notícias Explicativas, permite trabalhar remotamente com bastante confiança, efetuando apenas reajustes nas denominações das unidades da legenda de cada carta geológica. Estas alterações justificam-se pelo desenvolvimento no conhecimento geológico ou na classificação litostratigráfica, o que permite a adoção de uma metodologia de análise geológica, apoiada em ferramentas de análise espacial remota (e.g.: GIS) para requalificar a informação cartográfica antiga. Este trabalho expõe de forma sintética a metodologia e os resultados da reinterpretação de cartografia geológica publicada, seguida de verificação *in situ* para aferição da sua qualidade. Como caso de estudo escolheu-se a região de Montalegre-Tourém, situada no extremo N de Portugal, no domínio Parautoctone da Zona de Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM; Fig. 1). Na região afloram seqüências metapelíticas em variável grau metamórfico e granitos variscos na transição entre a ZGTM e o Autóctone da Zona Centro-Ibérica (Ribeiro *et al.*, 2019). Neste estudo foram utilizadas as cartas geológicas portuguesas 1-B, 1-D, 2-A, 2-C, 2-D, 5-B, 6-A e 6-B, (Geoportal LNEG), e as cartas geológicas

espanholas 224, 225, 226, 262, 263, 264, 300, 301, 302-C, 303-C e 336 (MAGNA IGME) à escala a 1/50000, obtendo-se um mapa geológico com uma área de 4825 km² (Fig. 1b) a partir de cartas geológicas que datam de 1968 a 1985.

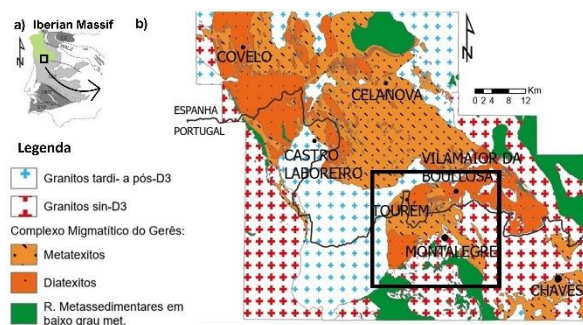


Fig. 1. Mapa geológico simplificado da área de estudo: a) enquadramento da região na ZGTM, representada a verde (adaptado de Quesada e Oliveira, 2019); b) Complexo Migmatítico do Gerês. Encontra-se destacada a negro a área detalhada na Fig. 2.

Neste estudo assumiu-se um principal interesse nas unidades de alto grau metamórfico, previamente estudadas por Ribeiro (1980). À luz de sistemática de rochas metamórficas moderna (e.g.: Bento dos Santos *et al.*, 2021), definiu-se o Complexo Migmatítico do Gerês (CMG) como composto por unidades metamórficas parcialmente fundidas (migmatitos) e granitos anatéticos. Embora a reinterpretação e homogeneização de unidades se tenha centrado essencialmente nestas litologias, também foram tidas em conta e observadas em campo todas as outras

unidades aflorantes. Assim, do trabalho de análise das cartas geológicas previamente publicadas e sua homogeneização, resultou a adoção de uma terminologia que subdivide as unidades do CMG em: a) metatexitos; b) diatexitos; c) granitos anatócticos (Sin-D2 a Sin-D3); e as unidades não relacionadas com o CMG em: d) metassedimentos de baixo grau do Parautóctone da ZGTM; e e) granitos tardi- a pós-D3. A título de exemplo, o termo cartográfico “metatexitos” substitui as unidades da cartografia prévia descritas como gnaiss, xisto gnáissico e migmatito indiferenciado, etc., enquanto o termo “diatexitos” substitui as unidades descritas como granito e migmatito indiferenciados, granito gnáissico, granito ocelado, etc. Quando disponível na cartografia prévia, a informação de isógradas metamórficas permitiu separar unidades dentro do CMG e entre o CMG e as rochas encaixantes de baixo grau metamórfico. A região de Montalegre-Tourém, área selecionada para trabalho de campo, tem uma área de 588 km² (área destacada na Fig. 1; Fig. 2), onde se observou com detalhe as unidades previamente reinterpretadas, permitindo testar a qualidade do trabalho de gabinete. A taxa de sucesso na reinterpretação foi de 96%. De facto, foi apenas necessário realizar reajustes na região de Covelães, numa área que separa metatexitos de diatexitos, correspondente a uma área <24 km². No campo, foi ainda possível verificar que alguns

corredores de cisalhamento e acidentes tectónicos não estavam cartografados, o que não era possível aferir apenas com base na cartografia existente.

Conclusões

O trabalho agora apresentado para a região de Montalegre-Tourém denota que a homogeneização da cartografia antiga à luz do conhecimento atual no gabinete é possível e aconselhada, antecedendo e em paralelo com o trabalho de campo. No caso de zonas transfronteiriças, como é este o caso, é imperativo. Além do recurso a ferramentas GIS, recomenda-se também a aferição das estruturas tectónicas a partir de deteção remota, especialmente em cartas anteriores à década de 1980. Também importante é a adaptação da metodologia de reinterpretação a cada tipo litológico cartografado. Apesar de possíveis erros realizados em trabalho de gabinete, os resultados são conclusivos: a reinterpretação e homogeneização cartográfica permite elevadas poupanças no tempo e custos de produção de cartografia atualizada, para além dos benefícios sociais decorrentes de uma mais rápida disponibilização da informação geológica à Sociedade. Esta abordagem vem também otimizar o tempo de trabalho no terreno, procedendo-se à observação cuidada de afloramentos/zonas-chave previamente identificados no gabinete.

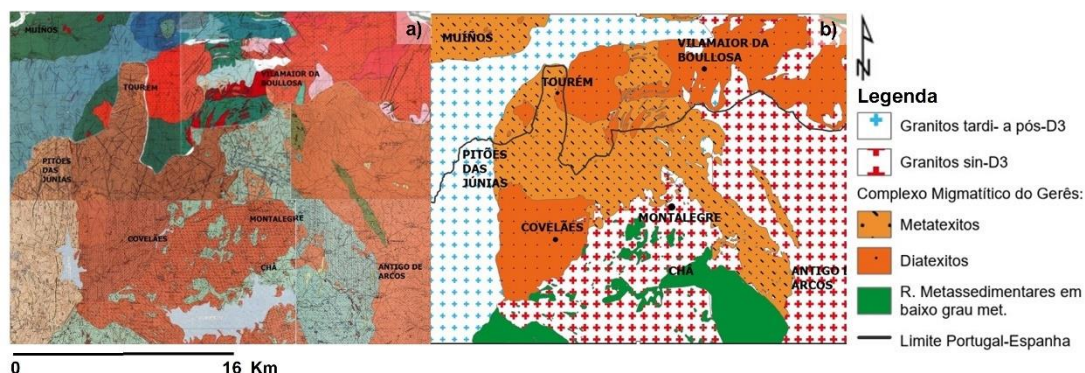


Fig. 2. Área de estudo e aplicação da homogeneização cartográfica: a) mapa geológico resultante de agregação das cartas geológicas oficiais publicadas; b) resultado final após aplicação da metodologia de reinterpretação e homogeneização utilizada e verificação in situ.

Referências

- Bento dos Santos, T., Rodrigues, J. F., Castro, P., Cotrim, B., Pereira, I., Ferreira, J., Pinto De Meireles, C. A., Ferreira, N., Ferreira, P., Ribeiro, A. & Guimarães, F. (2021). International Journal of Earth Sciences, 110, 6, 2179-2201.
- Geoportal LNEG (2023). Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50.000. Acedido a 1 de fevereiro de 2022, em: https://geoportal.lneg.pt/pt/dados_abertos/cartografia_geologica/cgp50k/.
- MAGNA IGME (2023). MAGNA 50 - Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª Serie). Acedido a 1 de fevereiro de 2022, em: <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50.aspx>
- Ribeiro, M.L., Castro, A., Almeida, A., González, L., Jesus, A., Lains, J.A., Martins, H.C.B., Mata, J., Mateus, A., Moita, P., Neiva, A.M.R., Ribeiro, M.A., Santos, J.F., Solá, A.R. (2019). Variscan Magmatism. In: Quesada, C., Oliveira, J. (eds.). *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach. The Variscan Cycle. Vol. 2*, 497-526.
- Ribeiro, M.L. (1980). Algumas observações sobre a petrologia e o quimismo dos granitóides da região de Tourém-Montalegre (N de Portugal). *Serviços Geológicos de Portugal*, 66, 33-48.

Programa de cartografia transfronteiriça do LNEG-IGME na Zona Sul Portuguesa nas escalas 1/200 000 e 1/400 000. Um contributo para a estratigrafia do SW Ibérico

The South Portuguese Zone 1/200 000 and 1/400 000 LNEG-IGME cross-border map program. A contribution to the SW Iberian stratigraphy

J.X. Matos (1), A. Díez-Montes (2), R. Dias (1), Z. Pereira (1), S. Machado (1), R. Solá (1), J.J. Huerta Carmona (2), R. Ressurreição (1), L. Albardeiro (1), M. Mendes (1), I. Morais (1), E. González-Clavijo (2), P. Gonçalves (1), S. Santos (1), D. Oliveira (1), R. Salgueiro (1), S. Henriques (1), J.T. Oliveira (1), P. Fernandes (3), C. Inverno (1) e M.T. Lopez (2)

- (1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG), joao.matos@lneg.pt
- (2) Instituto Geológico y Minero de España - CSIC (IGME)
- (3) Centro de Investigação Marítima e Ambiental CIMA/ARNET, Universidade do Algarve

Summary: The South Portuguese Zone (SPZ) 1/200 000 and 1/400 000 scale maps and stratigraphic program in SW Iberia is presented by a LNEG-IGME consortium and funded by GEO_FPI/Interreg-POCTEP. The 1/200 000 mapped area corresponds to the border area and is based on previous work (Folha 8 and Sevilla-Puebla de Guzmán maps). The 1/400 000 map covered a larger area, from Lisbon to Seville. The following domains of SPZ were considered: Pulo do Lobo (early Frasnian-late Famennian), Iberian Pyrite Belt (late Famennian-late Viséan) and Baixo Alentejo Flysch Group (late Viséan-late Moscovian). The maps include the Mesozoic Algarve basin and the Cenozoic Guadalquivir/Algarve basins. Field surveys were done using standard stratigraphic and GIS database methodologies. Palynological studies of Paleozoic metasedimentary rocks and U/Pb zircon geochronology of plutonic and volcanic rocks were essential to refine and update the Paleozoic stratigraphy. The new data allowed new knowledge and the validation of the geological models.

Key words: geological mapping, stratigraphy, South Portuguese Zone, Algarve and Guadalquivir basins

Palavras-chave: cartografia geológica, estratigrafia, Zona Sul Portuguesa, bacias do Algarve e Guadalquivir

A edição da Folha 1 da Carta Geológica da Área Transfronteiriça de Espanha e Portugal na escala 1/200 000, referente à Zona Sul Portuguesa (ZSP), foi uma das principais atividades do projeto GEO_FPI - Observatório Transfronteiriço para a valoração geoeconómica da Faixa Piritosa Ibérica (FEDER/INTERREG POCTEP), desenvolvido pelo Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC) e pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG), entre 2018 e 2020 (Matos *et al.*, 2019; Díez-Montes *et al.*, 2020). O GEO_FPI centrou-se na harmonização da cartografia geológica em ambos os lados da fronteira, no território abrangido pela ZSP, considerando áreas de trabalho comuns de cerca de 50 km de distância a partir daquele limite. Trata-se de um programa cartográfico que o LNEG e o IGME pretendem desenvolver ao longo da região fronteiriça dos dois países ibéricos, sendo as respetivas cartas correspondentes às zonas geológico-estruturais do orógeno varisco. Os antecedentes cartográficos da colaboração dos dois serviços geológicos incluem a edição do Mapa Geológico da Península Ibérica,

Baleares e Canárias à escala 1/1 000 000, editado em 2015. No caso da Folha 1 Transfronteiriça foram usadas como base as cartas na escala 1/200 000, Folha 8 (LNEG, Oliveira *et al.*, 1992) e Sevilha-Puebla de Guzmán (IGME, Matas *et al.*, 2015), bem como diversos trabalhos publicados. O maior desafio consistiu na homogeneização dos critérios cartográficos e estratigráficos relativos às unidades e estruturas geológicas, bem como a definição da sua continuidade. Através da realização de novos levantamentos geológicos foi possível assegurar uma resolução adequada para os diferentes problemas e inconsistências ainda existentes. Desta forma foi atingido o objetivo de se obter uma legenda geológica unificada para a região SW da península. Na Folha 1 foram considerados os seguintes domínios da ZSP: Pulo do Lobo (Frasniano inf.-Famenniano sup.), Faixa Piritosa Ibérica (Famenniano sup.-Viséano sup.) e Grupo Flysch do Baixo Alentejo (Viséano sup.-Moscoviano sup.) (Díez-Montes *et al.*, 2020). O mapa inclui também a Bacia Mesozóica do Algarve e a Bacia Cenozóica do Guadalquivir-Algarve. Na sua produção

foi utilizada uma única base de dados e sistema SIG, desenvolvidos pelo IGME-CSIC e LNEG, incluindo a classificação dos contactos geológicos e dados estruturais. Por forma a resolver problemas de estratigrafia foram efetuados estudos palinológicos no LNEG que permitiram datar 289 rochas sedimentares paleozoicas em secções geológicas e em sondagens, de ambos os lados da fronteira. A mesma abordagem foi usada em geocronologia U/Pb em zircões de 31 rochas vulcânicas e plutónicas sobretudo da sequência superior do Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS). Estas datações foram essenciais para a concretização da legenda do mapa, salientando-se os resultados obtidos na Fm. do Gafo (Mendes *et al.*, 2022), CVS (Solá *et al.*, 2019) e Fm. de Mértola. O programa de cartografia incluiu também a edição do Mapa Geológico da ZSP na escala 1/400 000, o qual abrange a região entre Lisboa e Sevilha (Díez-Montes *et al.*, 2020) e, na mesma escala, as cartas de depósitos minerais metálicos, rochas e minerais industriais e de património geológico e mineiro da ZSP. A informação está disponível em www.igme.es/GeoFPI/pt e www.geoportal.lneg.pt/pt.

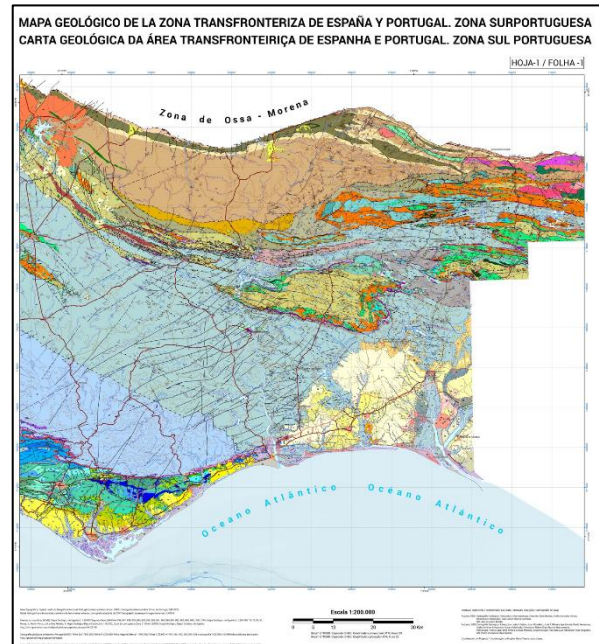


Fig. 1 – Extrato da Carta Geológica da Área Transfronteiriça de Espanha e Portugal – Folha 1, Zona Sul Portuguesa, escala 1/200 000, IGME-LNEG (Díez-Montes *et al.*, 2020). Ver original nos sites indicados em cima.

Agradecimentos: Proj. GEO_FPI (POCTEP; 052_GEO_FPI_5_E), cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, INTERREG V-A Espanha Portugal.

Referências

- Díez-Montes, A., Matos, J.X., Dias, R., Pereira, Z., Machado, S., Solá, R., López-López, M., Carmona, J.J.H., Ressurreição, R., Mendes, M., Albardeiro, L., Morais, I., Henriques, S., Oliveira, D., Carvalho, J., Gonçalves, P. & Santos, S. (2020). Notícia Explicativa da Carta Geológica da Zona Sul Portuguesa, 1/400 000. Geo-FPI/Interreg POCTEP, IGME-LNEG, 64p. ISBN: 978-989-675-119-7.
- Matas, J., Parra, L., Pascual, F., Roldán, F. & Martín-Serrano, A. (2015). Memoria de La Hoja Sevilla-Puebla de Guzmán, Mapa Geológico de España, escala 1/200 000 75/74, IGME, Madrid, 179p. ISBN: 978-84-7840-992-1.
- Matos, J.X., Díez-Montes, A., Pereira, Z., Solá, R., Dias, R., Ressurreição, R., Machado, S., Albardeiro, L., Oliveira, J.T., Fernandes, P., González-Clavijo, E., Huerta, J.J., Mendes, M., Salgueiro, R., Silva, T.P., Oliveira, D., Morais, I., Gonçalves, P., Santos, S., Filipe, A., Inverno, C., Carvalho, J., Amaré, P.O., Girón, A.M., Robador, A. & López, M.T. (2020). The South Portuguese Zone 1/400 000 LNEG-IGME-Junta de Andalusia common mapping program. A contribution for the Iberian Pyrite Belt VHMS exploration in Portugal and Spain. Abstract EGU2020-19381.
- Mendes, M., Pereira, Z., Vaz, N., Díez-Montes, A., Matos, J.X., Albardeiro, L., Fernandes, P., Jorge, R. & Chew, D. (2022). A new approach to palynostratigraphy of the middle–late Famennian Gafo Formation, southern sector of the Pulo do Lobo Domain, SW Iberia (Portugal and Spain). *Geological Magazine*, <https://doi.org/10.1017/S0016756822000346>.
- Oliveira, J.T. *et al.* (1992). Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, escala 1/200 000, Fl. 8, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 96 p.
- Solá, A.R., Albardeiro, L., Salgueiro, R., Morais, I., Díez-Montes, A. & Matos, J.X. (2019). U-Pb ages of South Portuguese Volcano Sedimentary rocks: preliminary results of Regional Mapping programs of Geo-FPI project. Abs, XII Cong. Ibérico Geoquímica, Univ. Évora, 87-90.

Contributo do acompanhamento das grandes obras de engenharia para a cartografia geológica – Caso de estudo do Corredor Internacional Sul

Major engineering works contribution to geological mapping – The south Corridor railway case study

I. Morais (1), L. Albardeiro (1), P. Gonçalves (1), S. Soares (1), R. Solá (1), R. Dias (1), R. Ressurreição (1), M. Castro-Pina (2), B. Serra (2), Z. Pereira (1) e M. Mendes (1)

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), igor.morais@lneg.pt

(2) Cerelindex - Consultores de Engenharia, Unipessoal, LDA, participada da TPF consultores

Summary:

The follow up of new railway works, which will be part of the International South Corridor (Corredor Internacional Sul), allowing the privileged access to new Ossa-Morena Zone outcrops, contributes to refine detailed geological mapping, as part of LNEG's mission. Along the different sections of the railway line, systematic geological sampling was carried out for petrographic, geochronological and paleontological studies. In addition, photographic record and three-dimensional modeling of the main slopes were performed using a drone. This methodology allows the construction of an information repository that can be consulted long after the works have been concluded and the outcrops become inaccessible. Besides the accuracy improvement of the geological contacts of the Ossa-Morena Zone rocks, the preliminary results confirmed the extent of Miocene debris flow sedimentation (conglomerates) and subsequent calcretization, and has identified new mineral occurrences.

Key words: Geologic mapping, photogrammetry, three-dimensional modeling, railway works

Palavras-chave: Cartografia geológica, fotogrametria, modelação tridimensional, obras ferroviárias

O acompanhamento de grandes obras de engenharia, na fase de construção, como é a nova linha ferroviária do Corredor Internacional Sul (CIS) - Ligação Évora-Elvas por parte do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), constitui uma oportunidade ímpar de incrementar o conhecimento geológico do território através de levantamentos geológicos de detalhe e amostragem sistemática numa área onde os afloramentos são escassos ou inexistentes.

O CIS constitui uma das maiores obras ferroviárias dos últimos anos em Portugal. Os traçados em taludes, por vezes de grandes dimensões, permitem uma boa exposição das litologias aflorantes, bem como da geometria dos contactos, permitindo ter uma perspetiva tridimensional dos limites geológicos e estruturas.

É objetivo do presente trabalho realçar a importância do acompanhamento pelo LNEG de obras de grande envergadura, onde o recurso a tecnologias facilitadoras de aquisição de dados de campo permite perpetuar a exposição temporária de afloramentos relevantes, e apresentar alguns resultados preliminares obtidos.

O troço ferroviário em construção (Évora-Elvas), com cerca de 80 km de comprimento, está localizado no NE Alentejano numa orientação transversal à estrutura geológica regional da Zona de Ossa Morena (ZOM) (Fig.1).

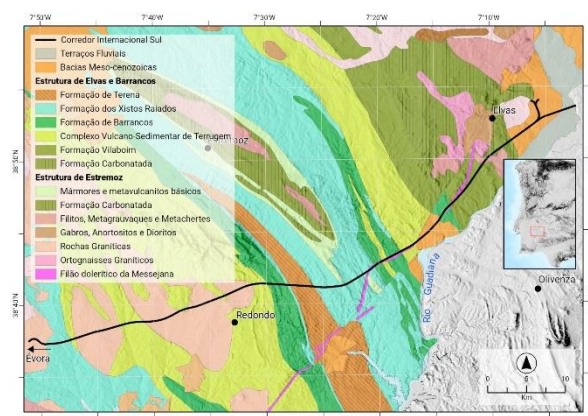


Fig. 1. Localização do traçado do Corredor Internacional Sul sobre extrato da Folha 6 da Carta Geológica de Portugal à escala 1/200 000 (adap. de Ferreira e Piçarra (Coords.), 2020).

O traçado intersecta o Setor de Montemor-Ficalho, o Setor Estremoz-Barrancos, incluído o anticlinal de Estremoz, Setor Alter do Chão-Elvas e a Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba, da Zona de

Ossa Morena, que incluem, essencialmente, formações metassedimentares com rochas metavulcânicas intercaladas, de idades compreendidas entre o Ediacário (Precâmbrico superior) e o Devónico (Paleozoico superior), rochas ígneas intrusivas e ainda sedimentos cenozoicos (Fig. 1).

Ao longo do traçado da linha foram realizados levantamentos geológicos de superfície acompanhados do registo fotográfico e modelação tridimensional dos principais taludes com recurso a drone (UAV), análises de fluorescência de Raios-X portátil (FRXP) e amostragem sistemática para estudos de pormenor. Os estudos de detalhe para a caracterização geológica incluíram amostragem sistemática das unidades metassedimentares e rochas ígneas intersectadas, para posteriores estudos petrográficos, geocronológicos e paleontológicos. A identificação litogeoquímica expedita foi feita com leituras por equipamento de fluorescência de Raios-X portátil (Hitachi, série X-MET8000). Para aquisição de fotografia aérea foi utilizado um UAV (DJI Mavic 2 Pro), que permitiram a construção de modelos digitais de elevada resolução espacial, através de fotogrametria, possibilitando a extração de elementos morfológicos de apoio à cartografia geológica.

A utilização combinada destes métodos possibilita a construção de um vasto repositório de informação geológica, sendo possível a sua consulta mesmo em fase posterior à conclusão da obra (em particular, depois da estabilização dos taludes). Destacam-se, preliminarmente, os seguintes aspetos:

i) A excelente exposição da formação de conglomerado poligénico, de idade miocénica, constituído por clastos sub-rolados a rolados, com diâmetro 2-50 cm, de composição ígnea e sedimentar, com diferentes graus de alteração, a ser alvo de estudo detalhado em termos de proveniência e reconstrução paleogeográfica (Fig. 2). A sua deposição poderá dever-se à geração de relevo relacionada com a atividade cenozoica da falha da Messejana.



Fig. 2 Aspeto geral da macha de empréstimo na formação de conglomerado poligénico do Miocénico.

ii) Os principais processos de calchificação ocorrem na zona Este, em granitos e nos sedimentos cenozoicos que se lhes sobrepõem. Os resultados preliminares obtidos pela FRXP em perfis verticais com processos de calchificação em granitos ilustram uma tendência de diminuição do CaO da base para o topo e um ligeiro aumento do SiO₂ no mesmo sentido. Estudos complementares contribuirão para um melhor conhecimento da distribuição e quantificação do CaO, do MgO e do SiO₂ nestes perfis.

iii) A excelente exposição da falha da Messejana, e o recurso a imagem de drone, permitiram a aquisição de informação tridimensional, inacessível após os trabalhos de estabilização de taludes. Este acidente tectónico regional desenvolve-se segundo a direção SW-NE, com desligamento sinistrogiro até 2,5 km (Schermerhorn *et al.*, 1978) preenchido por rochas doleríticas, de quimismo toleítico com idade ca. 202 Ma.

iv) Deteção de ocorrências minerais, anteriormente não identificadas, tais como, um filão de quartzo N40W com paragénese de qtz+pirite+calcopirite, bolsadas de magnetite associadas a rochas vulcânicas félsicas (Câmbrico inferior) e vários filões aplito-pegmatíticos.

Agradecimentos: O Laboratório Nacional de Energia e Geologia I.P, agradece à Infraestruturas de Portugal a disponibilização de recursos humanos e acesso à obra para os trabalhos de cartografia geológica e amostragem. O projeto do corredor Internacional Sul é cofinanciado pela União Europeia ao abrigo do Projeto Ferrovia 2020 – Projeta Portugal na Europa.

Referências

- Ferreira, P. Piçarra, J. (Coords.), (2020). Folha 6 da Carta Geológica de Portugal na escala 1/200 000, LNEG. ISBN: 978-989-675-074-9.
- Schermerhorn, L.J.C., Priem, H., Boelrijk, N., Hebeda, E., Verdurmen, E., Verschure, R., (1978). Age and Origin of the Messejana Dolerite Fault-Dike System (Portugal and Spain) in the Light of the Opening of the North Atlantic Ocean. *The Journal of Geology*, 86(3), 299-309.

Desenvolvimento e implementação do modelo de dados da Carta Geológica Digital de Portugal

Development and implementation of the data model of the Geological Digital Map of Portugal

A. Pereira (1), P. Patinha (1), A. Francés (1), R. Dias (1), J. Feliciano (1) e L. Quental (1)

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Portugal, aurete.pereira@lneg.pt

Summary: *The Portuguese Geological Survey (LNEG) provides the Geological Digital Map of Portugal (online version) through its geoportal. This product is supported by a data model (DM) that implements a hierarchical catalog of lithostratigraphic and lithodemic units. The DM is linked to an INSPIRE compliant geodatabase. The developed geological model provides a synthesis of published maps, with ongoing steps toward harmonisation and interoperability. This paper describes several aspects of the database implementation and its characteristics. The obtained database will allow to: (i) produce a seamless 2D geological map; (ii) solve the inconsistencies that become visible when changing the scale of representation (from 1:25 000 to 1:200 000); (iii) fulfill the INSPIRE requirements. It also highlights some cartographic problems that require further research and field survey to be solved.*

Key words: *geological mapping, data harmonisation, LNEG*

Palavras-chave: cartografia geológica, harmonização de dados, LNEG

O Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) disponibiliza a Carta Geológica Digital de Portugal no seu geoportal. Este produto tem por base um modelo de dados (MD) inovador que organiza pela primeira vez, de forma sistemática, todas as unidades geológicas cartografadas em Portugal Continental (Feliciano *et al.*, 2020).

O MD foi implementado na Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) do LNEG e integrado com o modelo de dados geológicos da INSPIRE (INSPIRE, 2013). Esta base de dados (BD) compila a cartografia geológica existente a várias escalas e suporta a harmonização das unidades geológicas, utilizando como base uma legenda única, contribuindo para uma cartografia geológica contínua. O objetivo é que a mesma BD possa dar resposta a: i) produção de cartas geológicas de base e temáticas; ii) pedidos de cartografia internos e externos; iii) requisitos INSPIRE.

Na fase inicial da implementação, foram definidos os níveis de organização das unidades com: (i) níveis superiores fixos que agrupam os grandes conjuntos geológicos; e (ii) níveis de ordem inferior que incorporam as unidades geológicas cartografadas, litoestratigráficas e litodémicas, de modo dinâmico, permitindo a integração, modificação, substituição e eliminação de unidades. A cada unidade cartografada foi atribuído um código que agrupa informação sobre a classificação da unidade nos vários níveis de organização (Feliciano *et al.*, 2020). O sistema de codificação é hierárquico e segue as normas internacionais (NACSN, 2005). Para facilitar o

carregamento de novos códigos foi desenvolvida uma aplicação Web que consiste numa série de formulários online que permite a consulta, edição e atualização dos dados, de uma forma segura, integrada e homogénea (Fig. 1).

No desenho da BD foram utilizados as tabelas e campos obrigatórios da INSPIRE. Este modelo de dados está organizado em torno de duas grandes categorias de informação: (i) a componente espacial representada pelos polígonos das unidades cartografadas; e (ii) a descrição das unidades geológicas, incluindo o tipo de unidade, um identificador único, litologias associadas, eventos geológicos e idades (INSPIRE, 2013). A este núcleo central foram adicionados os campos para armazenar o grau hierárquico e o estatuto das unidades geológicas (Formal e Informal). Para os níveis superiores de organização das unidades foi criado um dicionário de dados (Fig. 2).

A edição das geometrias e codificação dos polígonos é realizada num Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os códigos atribuídos aos polígonos correspondem ao identificador único da unidade cartografada (ID_UCF). Este ID não só permite identificar cada unidade geológica com um código único como contém toda a informação das ordens superiores das quais depende. O sistema possibilita

Fig. 1. Representação de um dos formulários da aplicação Web desenvolvida e que facilita o preenchimento do MD.

assim realizar pesquisas ao MD. Por exemplo, é possível representar num mapa todas as formações do Grupo do *Flysch* do Baixo Alentejo.

Esta infraestrutura possibilitou resolver problemas específicos da cartografia geológica, designadamente a harmonização das inconsistências na representação das unidades cartografadas entre cartas geológicas adjacentes. Permite também identificar problemas cartográficos cuja resolução passa por novos levantamentos de campo e estudos complementares. Como desenvolvimentos futuros está prevista a verificação da consistência da cartografia geológica a outros níveis: i) consistência dos dados em diferentes escalas de representação; ii) consistência na representação cartográfica dos elementos geológicos (que deverá ser independente do ano de publicação da base topográfica utilizada); iii) consistência transfronteiriça.

A classificação das unidades para a carta na escala 1:200 000 ainda está em curso e tem acompanhado o trabalho desenvolvido para a elaboração das folhas 3 e 5, as únicas que faltam publicar nesta escala. Assim que estas folhas forem publicadas pretende-se

também disponibilizar um protótipo desta cartografia para todo o território de Portugal Continental, no geoPortal do LNEG.

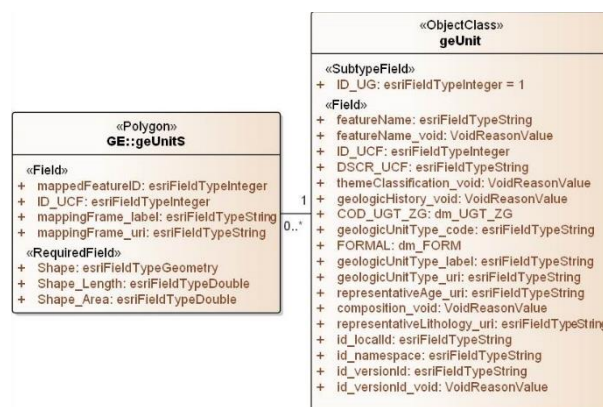


Fig. 2. Representação das duas tabelas mais importantes do modelo de dados geológicos INSPIRE. Campos adicionados: ID_UCF=identificador da unidade cartografada, DSCR_UCF=descrição da unidade cartografada, COD_UGT_ZG=código da unidade geotectónica e zona geográfica, ID_UG=identificador da unidade geológica, FORMAL=descrição do estatuto das unidades geológicas, dm_UGT_ZG=dicionário de dados dos níveis superiores, dm_FORM=dicionário de dados com o estatuto das unidades.

Agradecimentos: O trabalho tem co-financiamento do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE2020) através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) pelo projeto GeoON - Informação Geológica e Mineira Online (POCI-05-5762-FSE-000426).

Referências

- INSPIRE (2013). D2.8.II.4 INSPIRE Data Specification on Geology - Technical Guidelines, INSPIRE Thematic Working Group Geology.
- Feliciano, J., Pereira, E., Francés, A.P., Patinha, P., Pereira, A. & Dias, R. (2020). O modelo de dados da Carta Geológica Digital de Portugal. *In: Comunicações Geológicas*, 107(Especial I), 119-121.
- NACSN (2005). North American Stratigraphic Code. *AAPG Bulletin* 89, 1547-1591. Doi: 10.1306/07050504129.

Sinclinal de Penha Garcia: cartografia, litoestratigrafia e bioestratigrafia

Penha Garcia Syncline: geological mapping, lithostratigraphy and biostratigraphy

S. Pereira (1), I. Dias da Silva (2), J. Colmenar (3), M. Pires (1), T. Young (1,4) e C. Neto de Carvalho (5)

- (1) Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Univ. de Coimbra, ardi_eu@hotmail.com
- (2) Univ. de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto D. Luiz, Dep. de Geologia, 1749-016 Lisboa, Portugal
- (3) Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC), Espanha
- (4) GeoArch, Unit 6, Block C, Western Industrial Estate, Caerphilly, Wales
- (5) Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO. Serviço de Geologia do Município de Idanha-a-Nova

Summary: *New 1:25000 scale geological mapping of the Penha Garcia Syncline revealed a more complete Lower Palaeozoic sequence than was known before, represented by 11 formations ranging from Lower Ordovician (Tremadocian?) to lower Silurian (Llandovery), four of them recognized for the first time in this structure (from bottom to top): Serra Gorda, Penha Garcia, Brejo Fundeiro, Monte da Sombadeira, Fonte da Horta, Cabril, Louredo, "undefined unit", Casal Carvalhal, Vale da Ursa and Foz da Sertã. Biostratigraphic control of the sequence was achieved through the location of 80 fossil localities from Oretanian, Dobrotivian, Berounian, Hirnantian? and Llandovery strata. The sequence shows two main unconformities and was affected by WNW-ESE folding and transpressive shearing of Variscan age and by Alpine brittle faulting defining an ESE-WNW stepped graben structure.*

Key words: *Central Iberian Zone, Ordovician, Silurian, peri-Gondwana, Berounian*

Palavras-chave: *Zona Centro Ibérica, Ordovícico, Silúrico, peri-Gondwana, Berouniano*

O Sinclinal de Penha Garcia (SPG) é uma estrutura que, em Portugal, se prolonga desde Salvador (Penamacor) até Monfortinho (Idanha-a-Nova), num total de cerca de 21,5 km de comprimento e 2 km de largura média. É abrangido pelas folhas 21-D, Vale Feitoso (Perdigão, 1976) e 25-B, Salvaterra do Extremo (Sequeira *et al.*, 1999) da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000. Em Espanha tem continuação no Sinclinal de Cañaverl-Monfragüe. Uma área significativa do SPG e, por conseguinte, muitas das suas secções mais representativas e completas, localizam-se na Herdade de Vale Feitoso, de acesso privado. Enquadrado no interesse da autarquia de Idanha-a-Nova e do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO onde se localiza, efetuou-se cartografia geológica à escala 1:25000, acompanhada de estudo lito- e bioestratigráfico, cujos resultados preliminares apresentamos neste trabalho.

Em termos de estrutura, o SPG é um sinforma de 1ª ordem formado na orogenia varisca, com eixo sub-horizontal de orientação WNW-ESE e clivagem de plano axial sub-vertical. As dobras de 2ª ordem definem uma estrutura em "W" marcada pelas unidades ordovícicas e silúricas, que demarcam cartograficamente o eixo do SPG. Foram identificadas

zonas de cisalhamento frágil-dúctil dextróginas sub-verticais de direção E-W, que afetam o sinforma e que, por sua vez, estão cortadas por uma estrutura em *graben* escalonada para SE controlada por falhas de direção NNE-SSW. Embora Thadeu (1951) tenha considerado que uma falha longitudinal teria eliminado parte significativa da sequência no flanco NE do SPG, esta está completa em ambos os flancos.

Do ponto de vista litoestratigráfico, a sequência do Paleozoico do SPG é mais completa do que se conhecia (Perdigão, 1976; Young, 1988; Sequeira *et al.*, 1999; Bayet-Goll & Neto de Carvalho, 2020), estando representada por 11 formações (do Ordovícico Inferior ao Llandovery): Serra Gorda, Penha Garcia, Brejo Fundeiro, Monte da Sombadeira, Fonte da Horta, Cabril, Louredo, "unidade indefinida", Casal Carvalhal, Vale da Ursa e Foz da Sertã. Destas, as formações Cabril, Casal Carvalhal, Vale da Ursa e Foz da Sertã, foram reconhecidas pela primeira vez na região, demonstrando-se que a sequência alcança o Silúrico. Comprovou-se a existência de duas paraconformidades no seio da sequência Ordovícica (Young, 1988), uma representada pela Camada Favaçal na base da Fm. Louredo e outra marcada por um nível de tufo brechoide ferruginoso a teto da Fm.

Louredo. A primeira representa uma discordância reconhecida ao largo de todo o domínio perigondwânico (Young, 1992) na base do Berouniano médio. A segunda marca o contacto paraconforme entre a Fm. Louredo (Berouniano médio-superior?) e uma “unidade indefinida” anteriormente reconhecida como a Fm. Ribeira da Laje (Berouniano superior; Sinclinal de Amêndoa-Carvoeiro), cuja icnoassociação de *Nereites missouriensis* (Neto de Carvalho *et al.*, 2022) sugere correlação com a Fm. Ribeira do Braçal (Hirnantiano, Sinclinal do Buçaco).

O controlo biostratigráfico foi efetuado com a recolha de 620 amostras provenientes de 80 jazidas que permitiram identificar 120 espécies do Oretaniano, Dobroviano, Berouniano, Hirnantiano? e Aeroniano, 50 das quais identificadas pela primeira vez na região. Esta coleção de referência será exposta no Centro Interpretativo de Paleobiologia de Trilobites, em Penha Garcia. Face ao anterior estado do conhecimento (Pereira *et al.*, 2021a,b), aumentou-se substancialmente a paleobiodiversidade deste setor e melhorou-se o enquadramento zonal biostratigráfico regional. A parte inferior da Fm. Brejo Fundeiro apresenta uma associação de graptólitos do Oretaniano inferior, mas a presença do braquiópode *Cacemia ribeiroi* na parte superior sugere também Oretaniano superior. A presença da trilobite *Phacopidina micheli* na parte inferior da Fm. Monte da

Sombadeira e o braquiópode *Heterorthis morgatensis* no topo, indicam que toda a unidade é Dobrotiviano inferior. Na Fm. Fonte da Horta, que se considerava representada por fácies mais profundas, semelhantes aos setores norte da ZCI (e.g. Valongo), foi possível reconhecer um aumento de diversidade e redução de profundidade para o topo, onde as associações são extremamente diversas e similares a outros setores de Portugal central. A presença do graptólito *Gymnograptus linnarssoni* permitiu restringir a idade ao Dobrotiviano inferior. Na Fm. Cabril, a presença de *Crozonaspis incerta* sugere correlação com a parte inferior da Fm. May do Maciço Armoricano, do Dobrotiviano. No Mmb. Vaca, a topo da Fm. Louredo, registou-se a co-ocorrência de espécies que anteriormente se consideravam exclusivas do Berouniano médio (Gutiérrez-Marco *et al.*, 2017), definindo biozonas regionais iberoarmorianas (*Deanaspis seunesi-Crozonaspis dujardini* e *Svobodaina armoricana*), com taxa índice do Berouniano superior (e.g. *Rafinesquina pomoides*, *Svobodaina havliceki*). Estes novos dados põem em causa o esquema biozonal atualmente vigente para o Berouniano, sugerindo que a distribuição destas espécies poderá estar apenas relacionada com fatores paleoecológicos. Por último, a associação de graptólitos da Fm. Foz da Sertã em estudo, aponta para uma idade Aeroniano a Telychiano (Llandovery).

Agradecimentos: Ao Município de Idanha-a-Nova, Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, à Herdade de Vale Feitoso e a José Piçarra (identificação dos graptólitos). Este trabalho é financiado pela FCT I.P./MCTES, no âmbito do CGEO (UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020) do IDL (UIDB/50019/2020- IDL) e do DL57-Norma transitória.

Referências

- Bayet-Goll, A. & Neto De Carvalho, C. (2020). Architectural evolution of a mixed-influenced deltaic succession: Lower-to-Middle Ordovician Armorican Quartzite in the southwest Central Iberian Zone, Penha Garcia Formation (Portugal). *International Journal of Earth Sciences*, 109, 2495-2526.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Sá, A.A., García-Bellido, D.C. & Rábano, I. (2017). The Bohemo-Iberian regional chronostratigraphical scale for the Ordovician System and palaeontological correlations within South Gondwana. *Lethaia*, 50(2), 258-295.
- Neto De Carvalho, C., Muñiz, F., Baucon, A. Bayet-Goll, A. Pereira, S., Dias Da Silva, Í., Colmenar, J., Pires, M. & Young, T. (2022). Ichnology in the onset of the Hirnantian glaciation: the Rio Ceira Group of the Penha Garcia Syncline (Portugal). In: Jensen, S. (ed.), *Abstract Book of the International Meeting “Ossa Morena and beyond: a tribute to Teodoro Palacios,”* Univ. de Extremadura, Badajoz, 31-32.
- Pereira, S., Colmenar, J., Esteves, C.J.P., Dias Da Silva, Í., Pires, M. & Neto De Carvalho, C. (2021a). The Enigmatic Upper Ordovician of the Naturtejo UNESCO Global Geopark (Portugal). *Geoconserv. Research*, 4(1), 104-112.
- Pereira, S., Colmenar, J., Esteves, C.J.P., Dias Da Silva, Í., Pires, M. & Neto De Carvalho, C. (2021b). Paleobiodiversity in the Darriwilian of the Naturtejo UNESCO Global Geopark (Portugal). *Geoconserv. Research*, 4(1), 93-103.
- Perdigão, J.C. 1976. Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50.000. Notícia explicativa da folha 21-D (Vale Feitoso). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 11 pp.
- Sequeira, A.J.D., Proença e Cunha, P. & Ribeiro, M.L. (1999). Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50.000. Notícia explicativa da folha 25-B (Salvaterra do Extremo). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 47 pp.
- Thadeu, D. (1951). Geologia e jazigos de chumbo e zinco da Beira Baixa. *Bol. Soc. Geol. de Portugal*, 9 (1-2), 1-144.
- Young, T.P. (1988). The lithostratigraphy of the upper Ordovician of Central Portugal. *J.G.S. London*, 145, 377-392.
- Young, T.P. (1992). Ooidal ironstones from Ordovician Gondwana: a review. *Pal., Pal., Palaeoecology*, 99, 321-347.

O sinclínório complexo de Destriz-Caramulo (Tondela): litoestratigrafia e estrutura

The Destriz-Caramulo (Tondela) complex synclinorium: lithostratigraphy and structure

J. Romão (1) e P. Ferreira (1)

(1) UGHGC, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG, Portugal. manuel.romao@lneg.pt

Summary: *The revision of the geological mapping of the Caramulo-Destriz region allowed identifying the succession constituted by the Beiras Group (Neoproterozoic), on which Armorican Quartzite Formation is settled in angular discordance. This last unit succeeds in concordance with the Brejo Fundeiro Formation (Middle Ordovician) which has affinities with the sequence recognized in the Buçaco syncline and is in continuity with the Arganil quartzites. A NW-SE synclinorium with NW vergence and axial plane schistosity, associated with the main variscan phase, was also identified in the region. The outline of its axis presents the configuration of a sigmoid that resulted from a right shear, sub-parallel to the Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo Shear Zone.*

Key words: *Geological mapping, lithostratigraphy, structure, principal variscan phase, shear zone.*

Palavras-chave: Cartografia geológica, litoestratigráfica, estrutura, fase varisca principal, zona de cisalhamento.

Introdução

No âmbito da elaboração da Folha 3 da Carta Geológica de Portugal, à escala 1/200000, efetuou-se a revisão da cartografia geológica da região localizada a NW de Tondela, mais precisamente, desde o Caramulo até ao setor N de Destriz (a N do rio Alfusqueiro), numa extensão com cerca de 20 km, ao longo do azimute de 320°. Do ponto de vista geológico, a região situa-se no flanco SW do antiforma Viseu-Porto, integrando o bordo ocidental da Zona Centro-Ibérica (ZCI). É caracterizada por uma sucessão de litologias metamórficas (quartzitos, filitos e metagrauvaques), muito deformadas, delimitadas por inúmeros maciços graníticos, que fazem parte do extenso alinhamento NW-SE, designados, no geral, por Granitóides das Beiras. A sul da referida sucessão metamórfica, destaca-se ainda o granito do Caramulo, considerado sin-cinémático relativamente à 3ª fase varisca, D₃ (Godinho, 1980; Azevedo e Aguado, 2013). O primeiro mapa geológico da região foi elaborado por Ávila Martins (1962) na escala 1/50000. Este autor diferenciou e cartografou, detalhadamente, um conjunto de unidades compostas por xistos e grauvaques, quartzitos e xistos carbonosos (quiasitolíticos), que considerou serem parte integrante do Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico, atualmente designado por Grupo das Beiras, e vários tipos de granito, bem como faixas xisto-migmatíticas. Porém, na Carta Geológica de Portugal à escala 1:1000000 (LNEG, 2010) as litologias quartzíticas descritas estão representadas como do Ordovícico e as xisto-grauváquicas foram consideradas do Câmbrio. O metamorfismo regional que afeta as litologias apontadas é de carácter intermédio e caracterizado, no geral, pela progressão de isógradas

da clorite, biotite e estauroлите de SW para NE (Godinho, 1974). Atendendo aos dados conhecidos, já publicados, sobressai a elevada dificuldade em definir as relações posicionais e estruturais entre as várias unidades litológicas e a sua hierarquização temporal, em consequência da não descoberta de fósseis e da ação do metamorfismo intermédio. Nesta perspetiva, pretende-se identificar e cartografar a sucessão litoestratigráfica da região, tendo por base as relações geométricas e estruturais que ocorrem nos contactos entre as diferentes formações.

Litoestratigrafia

A partir da análise das relações de polaridade entre os estratos das litologias e dos elementos estruturais recolhidos, bem como da diferenciação litológica detalhada foi possível estabelecer e cartografar a seguinte sequência, da base para o topo: Grupo das Beiras (GB), Formação de Quartzito Armoricano (FQA) e Formação de Brejo Fundeiro (FBF). O GB (Neoproterozoico), representado no geral a ocidente da crista quartzítica do v.g. da Urgueira, é constituído por alternâncias de xistos e metagrauvaques da fácies dos xistos verdes (zona da clorite). Conjuntos de bancadas espessas de quartzitos, que se consideram parte integrante da FQA, sobrepõem-se às litologias anteriores, em discordância angular, observada claramente junto à povoação de Destriz. Os estratos de quartzitos, por vezes impuros, são, no geral, caracterizados por granularidade fina a média, onde se podem observar, com frequência, laminações paralelas e, por vezes, cruzadas. Na parte mais larga da crista quartzítica, que constitui a FQA localizada a NW do v.g. Urgueira, ocorre uma mancha de xistos laminados (FBF) concordantes com os estratos quartzíticos, numa estrutura em sinclinal, com o flanco

E invertido. A FBF aflora também a NE da crista quartzítica, uma vez que as camadas de quartzitos apresentam polaridade normal para NE no contacto entre as duas unidades. É ainda de notar que os xistos desta formação se encontram fortemente metamorfizados, sendo possível observar, em vários locais, porfiroblastos alongados de quistolite, estaurólite e mais raramente granada nos planos de xistosidade (Ávila Martins, 1962). Os xistos da FBF integram, na sua maior parte, a isógrada da estaurólite e andaluzite, cujo limite é subparalelo aos eixos da dobra varisca principal (Godinho, 1974).

Estrutura

A cartografia estrutural da área estudada evidenciou, à escala regional, a presença de uma megaestrutura que constitui um sinclínio, cuja extremidade SE (Caramulo) é formada por bancadas de quartzitos com atitude $N5^{\circ}-20^{\circ}W$, $55^{\circ}-75^{\circ}NE$. No extremo oposto (Benfeitas), os quartzitos ocorrem numa faixa estreita entre granitos e constituem, também, um monoclinial, cujos estratos estão orientados $N5^{\circ}-10^{\circ}W$, $45^{\circ}-65^{\circ}NE$. No setor central a megaestrutura é mais complexa, dado que parte dela é assimilada pelo granito do Caramulo. Porém, a generalidade das bancadas da FQA apresentam atitude geral NW-SE a WNW-ESE, $30^{\circ}-70^{\circ}NE$ a NNE. Em termos genéricos, a megaestrutura descrita corresponde a uma megadobra complexa em sinclinal composto, caracterizada no geral pelo flanco ocidental apresentar menores pendores ($30^{\circ}-50^{\circ}$) que o ramo oposto ($55^{\circ}-70^{\circ}$), com ambos os flancos a inclinarem para o quadrante NE. Esta megadobra, de vergência para NW, apresenta xistosidade de plano axial associada com pendor para NE e está geneticamente relacionada com a fase principal de deformação varisca (D_1). O traçado do seu eixo é sub-paralelo à direção da xistosidade principal e caracterizado por pendores suaves ($5^{\circ}-25^{\circ}NW-NNW$), seguindo as orientações já descritas para os estratos quartzíticos. Sobreimpõe-se a esta xistosidade uma forte crenulação, em particular, quando a estrutura está mais norteada.

Considerações finais

A revisão da cartografia geológica permitiu estabelecer uma nova sucessão litoestratigráfica para a região estudada a partir do reconhecimento das litologias aflorantes e das relações entre os elementos estruturais observados, apesar das múltiplas dificuldades, consequência de algumas das características originais das rochas terem sido obliteradas pela actuação de plutonometamorfismo. Porém, foi possível identificar e cartografar, da base para o topo, as sequências GB, FQA e FBF, tendo por base o conhecimento geológico em outras regiões

relativamente próximas. De facto, há semelhanças desta sucessão com as litologias presentes no sinclinal do Buçaco, para além destes afloramentos se encontrarem na continuidade da crista quartzítica de Arganil. Por outro lado, junto à povoação de Arrancada do Vouga, localizada a W da zona estudada, foi reconhecida uma sucessão de metapelitos cinzentos com nódulos (FBF?) onde foram encontrados fósseis que forneceram a idade de Ordovícico Médio e Superior (Sofia *et al.*, 2021). Outro marcador da sucessão cartografada consiste na clara discordância angular que ocorre entre as litologias do GB e FQA, que se observa localmente pela truncatura entre as estratificações das duas unidades e pela variação da lineação de interseção L_1 (sub-horizontal na FQA e com pendores $>60^{\circ}$ nos metassedimentos do GB). A megaestrutura que constitui o sinclínio complexo, com inúmeras dobras de segunda ordem, está associada à fase principal de deformação varisca (D_1) e integra-se no domínio das dobras vergentes para NW (Dias *et al.*, 2013). Esta deformação que tem associada uma xistosidade muito penetrativa resultou de uma compressão máxima NE-SW. A configuração sigmoide da megaestrutura descrita resultou da atuação de um cisalhamento posterior, com a orientação NNW-SSE, sendo a sua movimentação direita, com desenvolvimento sub-paralelo à Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo.

Referências

- Ávila Martins, J. (1962). Contribuição para o conhecimento geológico da região do Caramulo. Junta de Energia Nuclear, Memória 35, 123-230.
- Azevedo, M. & Valle Aguado, B. (2013). Origem e instalação de Granitoides Variscos na Zona Centro-Ibérica. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. & Kullberg, J. (eds.), *Geologia Pré-mesozoica de Portugal*. Escolar Editora, 377-401.
- Dias, R., Ribeiro, A., Coke, C., Pereira, E., Rodrigues, J., Castro, P., Moreira, N. & Rebelo, J. (2013). Evolução estrutural dos sectores setentrionais do autóctone da Zona Centro-Ibérica. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. & Kullberg, J.C. (eds.), *Geologia Pré-mesozoica de Portugal*. Escolar Editora, 73-147.
- Godinho, M.M. (1974). Sobre o plutonometamorfismo da região de Guardão (Caramulo, Portugal). Mem. Not. Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra, 78, 37-77.
- Godinho, M.M. (1980). O plutonito do Caramulo. Mem. Not. Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Coimbra, 89-90.
- Pereira, S., Colmenar, J., Pires, M., Young, T., Gomes, A., Polechová, M. & Vaz, N. (2021). Os primeiros fósseis do Ordovícico de Águeda (Aveiro): Implicações lito e bioestratigráficas. *Comunicações Geológicas*, 108, 1, 131-136.

An update of the Atauro Island Geological Map, Timor-Leste

Uma atualização do Mapa Geológico da Ilha de Atauro, Timor-Leste

J. B. dos Santos (1, 3), J. Pratas (2, 3), V. Vicente (1, 3), A. da Cruz (1), J. Nano (1) and M. Soares (1)

- (1) Instituto do Petróleo e Geologia, Timor-Leste, jsantos@ipg.tl
 (2) Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal
 (3) Centro de Geociências, Universidade de Coimbra, Portugal

Sumário: Na última década foram realizados estudos por vários investigadores em que se menciona a ilha de Atauro, porém devido ao seu carácter regional apresenta diversas lacunas. Este estudo pretende através do uso de deteção remota e observações de campo produzir uma nova cartografia geológica da ilha de Atauro. Estas metodologias de abordagem permitiram obter informações sobre a distribuição litológica e controlos estruturais, para posteriores estudos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos.

Palavras-chave: Mapa Geológico; Deteção Remota; Ilha de Atauro; Timor-Leste

Key words: Geological Map; Remote Sensing; Atauro Island; Timor-Leste

Introduction

Atauro island lies on the Inner Banda Arc where it is the eastward extension of the Java-Sumatra volcanic arc, both resulting from the large-scale convergence of the Indo-Australian plate toward Eurasia (Fig. 1).

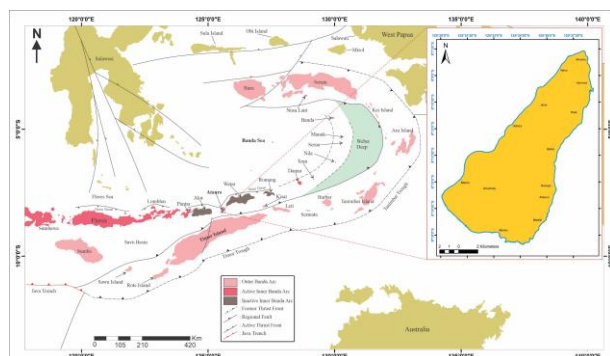


Fig. 1. Tectonic map of Banda Arc. Modified after Macpherson & Hall, 2002.

In the past of decade several researchers conducted the regional scale study which have mentioned Atauro island however in the research report lack of details information.

The first geological map of Atauro island was produced by Geological Research and Development Center, Indonesia (1997) entitled Geological Map of the Alor and West Wetar Sheets, Nusatenggara. Followed by, Ely, *et al.* (2011) entitled Evolution of Atauro Island. It is stated that, Atauro comprises a varied succession of subaqueous lavas and volcanoclastic deposits, locally intruded by dykes and sills. The brecciated lavas of dacitic to rhyolitic composition dominate the sequence. The new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age presented evidence there was an active volcanism on Atauro until at least 3.3 Ma.

In relation to that, the study presents combination of remote sensing and field work observation which produced an adequate tentative geological map of the Atauro island.

Methodology

The study started with desktop study, followed remote sensing analysis on LANDSAT-8 imagery with principal component (PCA) analysis technique and also used recent lidar data. Finally, field work observation combines with these steps produced tentative geological map (Fig. 2B).

Result and Discussion

This study adds some more new findings which is about; lithology distribution and its boundary. Furthermore, new evidence of structural geology shown in striations movement which well observed along fault zone with its hanging wall moves to southeast direction in Beloi area.

Moreover, Remote sensing through principal component analysis (PCA) on LANDSAT-8 imagery depicts the differentiation of lithological units in the following table:

Table 1. Color, lithology and relief observed on map produced by PCA.

Color	Lithology	Relief
Violet & green	Possibly Dacite	High
Blue-violet	Possibly Basalt	High
Yellow	Possibly Limestone	High
Mix color (violet, yellow, green)	Possibly Alluvium	Low

Based on the remote sensing map produced (Fig. 2A), it is found possibly dacite which represent by violet and green color distributed along high relief in the eastern part of the island. The blue-violet color which dominated southwest of the island possibly basalt

lithology. The limestone lithology represents by yellow color which is distributed along south, west continue to northern part of the island. Whereas, the low relief shows possibly alluvium unit with mix color of violet, yellow and green.

The outcomes of the study, concluded that there are two types of major structure existed in the island, such as strike-slip fault with direction NNW-SE to N-S and normal fault to the direction of NE-SW. The strike-slip fault well observed along Makili to Beloi area, hence, it is called Beloi fault. The Beloi fault striations measurement illustrated oblique fault movement. The normal fault which well exposed across central and

eastern side of the island, probably related with strike slip fault movement.

Conclusion

The combination of remote sensing and field work observation able to generated the tentative geological map. The geological map will be more accurate and provide clear information once the next field work will be conducted through rock sample verification in the boundary that has not been visited. The rock sample collected will be analyzed through petrography, geochemical and geochronology analysis.

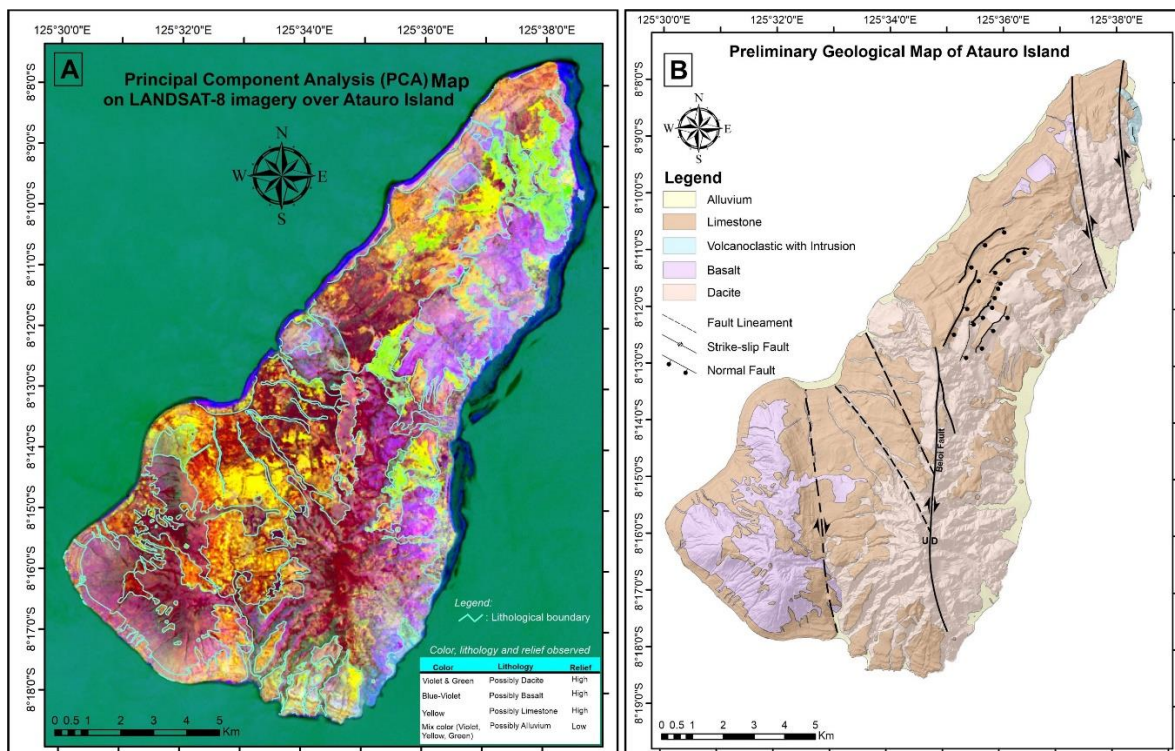


Fig. 2. (A) Principal Component Analysis (PCA) Map on LANDSAT-8 imagery; (B) Preliminary interpretation on Geological Map of Atauro island based on combination between Principal Component Analysis (PCA) and field work verification.

Acknowledgements: The research done with lots of works and the author acknowledges the Instituto do Petróleo e Geologia, Timor-Leste for funded the work.

References

- Ely, K.S., Sandiford, M., Hawke, M.L., Phillips, D., Quigley, M. & dos Reis, J.E. (2011). *Evolution of Atauro Island: Temporal constraints on subduction processes beneath the Wetar zone, Banda Arc*. Journal of Asian Earth Sciences, 41, 477-493.
- Macpherson, C. & Hall, R. (2002). *Timing and tectonic controls in the evolving orogen of SE Asia and the western Pacific and some implications for ore generation*. 10.1144/GSL.SP.2002.204.01.04. Geological Society, London, Special Publications, 19 pp.
- Noya, Y., Burhan, G., Koesoemadinata, S. & Mangga, S.A. (1997). *Geological Map of the Alor and West Wetar Sheets, Nusatenggara*. Second Edition. Geological Research and Development Center, Indonesia.

Cartografia do sinclinal de Buçaco-Penedos de Góis

Mapping of the Buçaco-Penedos de Góis syncline

A. J. D. Sequeira (1) e J. Medina (2)

- (1) Geólogo Aposentado do LNEG, antoniojdsequeira@gmail.com
 (2) GeoBioTec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, jmedina@ua.pt

Summary: *At a normal fieldwork scale (1/25000) problems arise in the cartographic representation of some of the units defined in the Buçaco-Penedo de Góis syncline, which have thicknesses of 50 meters or less. It was necessary to group them resulting in a lithostratigraphic sequence for most of the cartographic separations already carried out by Delgado (1908), although with the designations created by later authors.*

Key words: *Buçaco-Penedo de Góis syncline, geological mapping, Ordovician-Silurian*

Palavras-chave: Sinclinal de Buçaco-Penedos de Góis, cartografia geológica, Ordovícico-Silúrico.

A única cartografia geológica detalhada da totalidade do sinclinal de Buçaco-Penedos de Góis até agora publicada (à escala 1/50000) é da autoria de Nery Delgado (Costa, 1950) mas necessitava de uma revisão. Novas unidades foram definidas por autores posteriores mas não foram acompanhadas de cartografia à escala adequada. Também não foram considerados, na cartografia de Delgado, os aspetos tectónicos resultantes dos ciclos orogénicos varisco e alpino.

A uma escala normal de trabalho de campo (1/25000) surgem problemas quanto à representação cartográfica de algumas das novas unidades definidas neste sinclinal. Isto acontece porque são várias as unidades, com o carácter de Formação, que têm espessuras de 50 metros ou menos, como é o caso de algumas das formações do Grupo Cácemes assim como do Grupo Rio Ceira (Young, 1988). Foi portanto necessário agrupá-las. Isto conduz à maior parte das separações cartográficas já efetuadas por Delgado, embora com as designações criadas pelos autores posteriores. A sequência litostratigráfica apresentada neste trabalho baseia-se nessas designações. Segue-se, com carácter sedimentar, a descrição sucinta das unidades litostratigráficas que fazem parte do sinclinal de acordo com esta nova visão.

ORDOVICICO: Tremadociano: Formação da Serra Gorda

É constituída por xistos micáceos de cor borra de vinho com leitos quartzíticos intercalados, seguidos por quartzitos e grauvaques xistóides micáceos de cor violeta intercalados com xistos micáceos brancos ou borra de vinho. Localmente contém conglomerados suportados por clastos, de carácter lenticular, fundamentalmente na base da unidade. Espessura:

165 metros. Corresponde aos “Grauwackes vermelhos inferiores” de Delgado (1908).

Nota: A unidade a que Nery Delgado chamou “Grauwackes vermelhos inferiores” está representada no seu “corte de Sarnelha a Chã” (corte nº 7 em Costa, 1950). Com base nesse corte Henry *et al.* (1974) designaram-na por Formação de Sarnelha, não a tendo definido. Mas em Sarnelha, junto ao flanco SW do sinclinal, não aflora esta unidade, estando nesse local a Formação da Serra do Brejo (Ordovícico inferior) em contacto tectónico com a Formação de Sazes, do Silúrico.

Uma vez que terrenos semelhantes foram definidos como Formação da Serra Gorda no sinclinal de Penha Garcia (Sequeira, 1993), propõe-se esta designação para a unidade até agora conhecida como “Formação de Sarnelha”.

Floiano: Formação de Serra do Brejo (“Quartzito Armoricano”)

É constituída por quartzitos, normalmente de tons claros, em bancadas decimétricas a métricas. Para o topo, os quartzitos passam a constituir bancadas menos possantes, com intercalações de quartzitos xistóides e pelitos. Espessura: 460 metros. Corresponde aos “Quartzites com *Scolithus*” e “Quartzites com *Bilobites*” de Delgado (1908).

Floiano?-Dapingiano-Darriwiliano-Sandbiano: Formação de Brejo Fundeiro

Constituída por pelitos cinzentos escuros micáceos, com intercalações, que chegam a ser centimétricas, de siltitos e arenitos. Os pelitos contêm por vezes nódulos disseminados de forma ovóide. Espessura: 150 metros. Corresponde aos “Schistos com *Orthis ribeiroi*” de Delgado (1908).

Formação de Cécemes

É constituída por 4 membros e corresponde aos “Schistos com *Homalonotus oehlerti*” de Delgado (1908): **Membro de Monte da Sombadeira:** Arenitos finos em bancadas decimétricas a métricas com intercalações de pelitos e siltitos. O Membro organiza-se neste sinclinal em dois conjuntos de bancadas areníticas, separados por um conjunto de bancadas pelíticas. Espessura: 50 metros. **Membro de Fonte da Horta:** Essencialmente pelítico, incluindo raras bancadas areníticas. Espessura máxima de 65 metros. **Membro de Cabril:** Constituído por dois conjuntos de bancadas areníticas e siltíticas, intercalados por um conjunto pelítico. Na parte superior ocorrem bancadas conglomeráticas fosfatadas. Espessura: cerca de 30 metros. **Membro de Carregueira:** Apelitos cinzentos a negros. Espessura: cerca de 16 metros.

Katiano: Formação de Louredo

Constituída por arenitos finos em bancadas decimétricas, intercalados por pelitos cinzentos a negros. Existem 3 membros pelíticos incluídos na unidade. A base da Formação corresponde à base do horizonte de ferro oolítico a que se deu o nome de “Camada Favacal” (e não “Favaçal”, como tem sido designada na literatura geológica). Espessura: 240 metros. Corresponde ao conjunto das unidades “Grés de Loredo” e “Schistos com *Dalmanites dujardini*” de Delgado (1908).

Formação de Porto de Santa Anna

A base é constituída por camada de ferro oolítico (Membro Leira Má). A unidade é constituída por sedimentos vulcanoclásticos, tufos, *pillow* lavas e camadas silicificadas provavelmente de origem carbonatada. Espessura: cerca de 130 metros. Corresponde à unidade de “Schistos dibásicos” de Delgado (1908).

Formação de Ferradosa

Agradecimentos: O primeiro autor efetuou a cartografia do sinclinal enquanto geólogo do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). O segundo autor agradece à Fundação para a Ciência e a Tecnologia o apoio no âmbito do programa de financiamento da unidade de investigação GEOBIOTEC (UID/GEO/04035/2020).

Referências

- Costa, J.C. (1950). Notícia sobre uma carta geológica do Buçaco, de Nery Delgado”, Serv. Geol. Portugal, 27 pp, 2 pl
- Delgado, J.F. Nery (1908). “Systeme silurique du Portugal. Étude de stratigraphie paléontologique”. Mem. Com. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 240 p., 8 pl
- Henry, J.L., Nion, J., Paris, F. & Thadeu, D. (1974). “Chitinozoaires, Ostracodes et trilobites de l’ Ordovicien du Portugal (Serra de Buçaco) et du Massif Armorican: essai de comparaison et signification paleogeographique”, Com Serv Geol Portugal, 57, 303-345, 10 pl.
- Sequeira, A.J.D. (1993). “A Formação da Serra Gorda (Tremadociano?) do sinclinal de Penha Garcia”, Com Inst. Geol. Mineiro, 79, 15-29.
- Young, T.P. (1988). “The lithostratigraphy of the Upper Ordovician of Central Portugal”, Journ Geo Society, London, 145, 377-392, 10 fig., 2 tables.

Constituída por calcários e dolomitos. Consideram-se 2 Membros: Membro Poiares, com 6 metros de espessura, e Membro Riba de Cima, com cerca de 100 metros. Corresponde aos “Calcareos” de Delgado (1908).

Formação de Rio Ceira

Corresponde a parte das “Camadas culminantes” de Delgado (1908). É constituída por 2 Membros:

Membro de Ribeira do Braçal

Consiste numa alternância de pelitos e siltitos, numa sequência regressiva. Espessura: cerca de 17 metros.

Membro de Ribeira Cimeira

Começa por arenitos conglomeráticos que passam a arenitos e pelitos. Espessura: cerca de 24 metros.

Hirnanciano: Formação de Casal Carvalhal

Constituída por xistos gresosos com clastos, interpretados como sedimentos glacio-marinhos. Espessura: cerca de 45 metros. Corresponde a parte das “Camadas culminantes” de Delgado (1908).

SILÚRICO: Landoveriano?: Formação de Vale da Ursa

Constituída por quartzitos brancos micáceos com alguns pelitos intercalados. Espessura: 20 metros visíveis.

Venloquiano-Ludloviano-Pridoliano?: Formação de Sazes

Corresponde aos “Schistos com nódulos” de Delgado (1908). Apresenta 2 Membros: **Membro inferior:** Pelitos negros carbonosos, micáceos. Espessura: 15 a 20 metros visíveis. **Membro superior:** Pelitos cinzentos intercalados com quartzitos impuros, muito micáceos, que se tornam mais predominantes e de maior espessura para o topo da sucessão. Os xistos contêm frequentemente nódulos ao longo de toda a sequência mas principalmente na parte superior. Espessura: indeterminada, devido ao dobramento, mas atingindo algumas centenas de metros.

Calcretos da região de Elvas – Estudo preliminar

Calcrete in Elvas region (Alentejo) – Preliminary results

S. Soares (1), R. Dias (1), R. Ressurreição, I. Morais (1), L. Albardeiro (1), P. Gonçalves (1), R. Solá (1) e M. Castro-Pina (2)

(1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), sofia.soares@lneg.pt

(2) Cerelinx - Consultores de Engenharia, Unipessoal, LDA, participada da TPF consultores

Summary: *The construction of a new railway in NE Alentejo crossing the Ossa Morena Zona allowed new detailed studies focused on the geological units and the structure of the area. In the Elvas region, the Miocene is represented by a coarse conglomerate covered by sandy mudstones. The conglomerate is coarser near the Messejana fault, where it is also tilted. Its deposition is probably related to the Alpine reactivation of the fault. The sediments and the basement rocks are strongly affected by Miocene calcretization. A chemical characterization of calcrete along vertical profiles was done with portable x-ray fluorescence equipment. The preliminary results show a decrease in CaO content upwards and an increase in SiO₂.*

Key words: *calcrete, calcretization, granite, conglomerates, Guadiana basin*

Palavras-chave: calcretos, calchificação, granito, conglomerados, bacia do Guadiana

Enquadramento

A linha de caminho de ferro referente ao Corredor Internacional Sul, em construção, irá assegurar a ligação ferroviária entre o sul de Portugal e o resto da Europa na vertente de transporte de mercadorias entre Sines-Elvas-Caia (Espanha).

O troço ferroviário localizado no NE Alentejano foi acompanhado por equipas do LNEG com o objetivo de cartografar e estudar detalhadamente algumas das formações geológicas aflorantes e estruturas tectónicas (Morais *et. al.*, este vol.).

O traçado geral está inserido na Zona de Ossa Morena e atravessa essencialmente formações metassedimentares (e metavulcânicas intercaladas) do Ediacárico ao Devónico, rochas ígneas intrusivas nestas sequências e ainda sedimentos do Cenozoico da bacia do Guadiana.

Estas litologias encontram-se fortemente afetadas por processos de calchificação, sendo evidente o domínio dos calcretos afetando granitos e sedimentos miocénicos conglomeráticos e areno-argilosos da formação de Moura-Elvas (Ferreira e Piçarra, 2020) indiscriminadamente, com distribuição em área e em profundidade.

Os calcretos são rochas resultantes da carbonatação devido ao contacto de água carbonatada superficial ou freática com diferentes tipos de litologias. Estas litologias são cimentadas ou substituídas por carbonato de cálcio de origem continental e ocorrem em diversos tipos de ambientes e geografias.

Este trabalho tem como objectivo descrever e caracterizar geoquimicamente os processos de calchificação, nomeadamente dos calcretos associados ao granito e aos sedimentos Miocénicos. Os níveis conglomeráticos calchificados apresentam fácies compatíveis com uma sedimentação do tipo *debris flow*. Junto à falha da Messejana, onde ocorrem as fácies mais grosseiras, o depósito encontra-se basculado. A sua sedimentação foi provavelmente controlada pela reativação da falha da Messejana durante um ou vários episódios de deformação da Orogenia Alpina. O depósito grosseiro encontra-se coberto por níveis areno-argilosos. De acordo com Moya Palomares *et al.* (2000), esta sucessão sedimentar é atribuída à Unidade Superior da bacia do Guadiana, que se inicia nesta área com fácies proximais de leque aluvial e passa a regimes fluviais. No mesmo estudo (e referências aí contidas), refere-se que se deu a instalação no final do Miocénico de um regime lacustre com deposição de carbonatos laminados. Existem incertezas se existe mais do que um episódio de calchificação. O último episódio terá ocorrido no Tortoniano-Messiniano, previamente à deposição dos sedimentos plio-quadernários.

Aquisição de dados

As observações de campo indicam que os calcretos se terão originado maioritariamente por carbonatação superficial devido ao contacto com água carbonatada estagnada e à sua infiltração nas superfícies de fraqueza das rochas, sendo visível a carbonatação instalada do topo para a base das formações (Fig. 1).

A calchificação apresenta-se sob variadas formas: níveis endurecidos de carbonatos que assentam diretamente sobre substrato rochoso; níveis de carbonato de cálcio com espessura contínua, muito friáveis e praticamente sem nódulos; regiões de cimentação muito fraca com fraturas preenchidas por carbonato e com abundantes nódulos carbonatados. A compartimentação em blocos desta região da bacia do Guadiana pode ter contribuído para a diversidade de formas de calchificação encontradas.

Como contributo para o acompanhamento e cartografia de detalhe considerou-se importante a caracterização geoquímica dos processos de calchificação, com destaque para os calcretos associados ao granito e aos sedimentos Miocénicos.

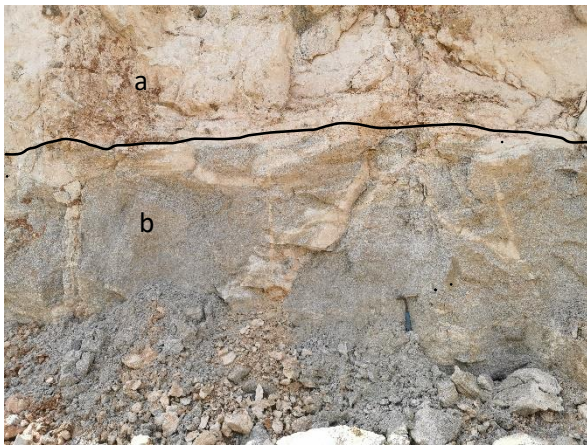


Fig. 1. Aspecto da calchificação na interface granito – sedimentos Miocénicos. A figura ilustra o detalhe da zona fortemente calchificada (a) no contacto com o granito (b) meteorizado e calchificado ao longo das fraturas.

Realizaram-se análises de fluorescência de Raios-X portátil (FRXP) com equipamento Hitachi, série X-MET8000, em locais selecionados para amostragem. Nos locais em que as condições de segurança e acesso ao afloramento o permitiam foram realizados perfis verticais de amostragem e análises de FRXP, com

espaçamento médio de 50 cm, para análise de possíveis variações na distribuição do CaO, MgO, SiO₂ e de outros óxidos e elementos.

Para a colheita de dados no campo, foram utilizados dispositivos móveis com recurso a formulários inteligentes nomeadamente o Survey 123 (desenvolvido pela ESRI), permitindo de forma bastante simples a aquisição e centralização de informação sobre cada uma das amostras adquiridas, nomeadamente coordenadas, descritivo, litologia, etc. sendo possível adicionar várias fotografias a cada conjunto de amostras

As amostras recolhidas permitiram a repetição em gabinete das análises de FRXP, sempre que possível na amostra tal qual e em amostra moída e homogeneizada. Os resultados foram comparados com os dados obtidos em campo.

Conclusão

Os resultados preliminares obtidos pela FRXP em perfis verticais com processos de calchificação ilustram uma tendência de diminuição do CaO da base para o topo e um ligeiro aumento do SiO₂ no mesmo sentido. Este resultado pode dever-se a uma maior concentração de carbonatos na interface sedimento/granito, que terá actuado como barreira para a infiltração de água enriquecida em carbonatos, ou a uma posterior remobilização parcial de CaCO₃ dos níveis mais superficiais.

Trabalhos futuros incluem estudos complementares de caracterização física e química e análise petrográfica (sempre que possível), no sentido de permitir estabelecer a relação entre a rocha e os processos de meteorização e calchificação, e esclarecer a possível existência de mais de um episódio de calchificação.

Agradecimentos: O Laboratório Nacional de Energia e Geologia I.P, agradece à Infraestruturas de Portugal, S.A. a disponibilização de recursos humanos e acesso à obra para os trabalhos de cartografia geológica e amostragem. O projeto do corredor Internacional Sul é cofinanciado pela União Europeia ao abrigo do Projeto Ferrovia 2020 – Projetar Portugal na Europa.

Referências

- Ferreira, P., Piçarra, J. (Coords.) (2020). Folha 6 da Carta Geológica de Portugal na escala 1/200 000, LNEG. ISBN: 978-989-675-074-9.
- Moya Palomares, M.E., Azevêdo, T.M., Rodrigues-Plaza, M. (2000). Estudio preliminar de los sistemas fluviales cenozoicos de la Cuenca del Guadiana entre Mérida y Badajoz (España). *Ciências da Terra (UNL)*, 14, 223-232.

The Lithostratigraphy and Structural Setting of the Banda Terrane and Gondwana Sequence on the Northeast of Oecusse Enclave, Timor-Leste

Litostratigrafia e contexto estrutural do Terreno de Banda e da Sequência Gondwana no Noroeste do Enclave de Oecusse, Timor-Leste

V. Vicente (1,4), J. Pratas (2,1), F. C. Lopes (2,3) and R. Harris (5)

- (1) CGEO – Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, videsousa10@gmail.com
- (2) DCT-FCTUC – Department of Earth Sciences, University of Coimbra, Coimbra, Portugal
- (3) CITEUC – Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- (4) IPG Timor-Leste – Instituto do Petróleo e Geologia, Dili, Timor-Leste
- (5) Department of Geology, Brigham Young University, Provo, UT, USA

Sumário: A escassa informação geológica do enclave de Oecusse, e a sua complexidade geotectónica, dificultam a boa compreensão do seu contexto geológico. Para melhor entender a litoestratigrafia e a tectónica da parte nordeste deste território, elaborou-se nova cartografia geológica, recorrendo à interpretação de dados de deteção remota e às observações de campo. A área estudada é constituída principalmente por terrenos de Banda de afinidade Asiática. Correspondem parcialmente a rochas metamórficas, do Jurássico, da base do arco frontal (Complexo de Lolotoe), a depósitos com fácies de bacia do Cretácico (Grupo Palelo), associados a calcários de águas rasas do Eocénico (Calcários de Dartollu) e a uma série vulcânica do Eocénico-Miocénico. Estas unidades constituem o cavalgamento-teto de um duplex de escamas de afinidade Australiana (Sequência Gondwana), dominadas por siltes, argilas e carbonatos de águas rasas do Triássico. Os cavalgamentos-teto possuem direção NW-SE e são cortadas por falhas de transferência sinistras, de orientação NE-SW.

Palavras-chave: litoestratigrafia, contexto estrutural, Terreno de Banda, Sequência Gondwana, enclave de Oecusse

Keywords: lithostratigraphy, structural setting, Banda Terrane, Gondwana sequence, Oecusse enclave

Introduction: The collision of the Australian Continental Margin with the Banda Arc has formed the complex structural and stratigraphical setting of Timor Island. The result of the collision could be observed in the northeast of Oecusse enclave (Timor-Leste), where the Banda Terrane is in structural contact with the northernmost edge of the Australian continental margin, a condition which is not very well depicted on the previous geological map of the area (Fig. 1). Therefore, the main purpose of this work is to map units that belong to the two different plates and develop a working stratigraphic and structural model.

Methodology: Ground truthing of digitally processed Landsat 8, ASTER DEM, and aerial photo data.

Regional Tectonic & Geological Setting: Timor Island is located at the collisional margin between the oceanic Banda volcanic arc and the Australian continental margin. The island is made up of 4 main tectonostratigraphic sequences: (1) The Gondwana Sequence (Upper Carboniferous-Jurassic) comprises of units deposited on Australian continental crust; (2) the Australian Passive Margin/Kolbano Sequence (Jurassic-Miocene), deposited after continental breakup; (3) the Banda Terrane, comprises the forearc units of the Banda volcanic arc and are of Asian affinity Jurassic to Late Miocene units; (4) Synorogenic Sequence (Upper Miocene-Present); consisting of deposits formed since

the start of collision of the continental margin with the Banda forearc.

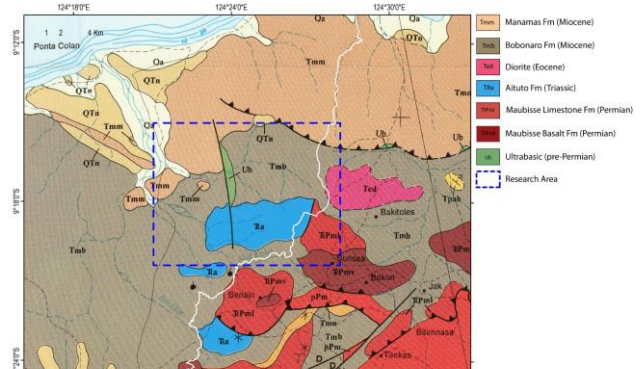


Fig. 3 The Geological Map of Research Area (Suwitodirdjo & Tjokrosoetro, 1996)

Based on the previous geological map (Fig. 1), the research area mainly consists of Bobonaro Scaly Clay; a mélangé deposit formed during the collision; the Triassic Aituto Formation, a part of the Gondwana sequence; the pre-Permian Ultrabasic rock; and the Miocene Manamas Formation.

Result and Discussion: The geological setting of the research area is much more complex than it was previously thought, as depicted in recent geological map (Fig. 2). Several units/formations can be individualized:

(1) Banda Terrane

Lolotoe/Mutis Complex (Jurassic): Metamorphic forearc basement with a Jurassic and younger protolith age that was metamorphosed during the Late Eocene and Early Oligocene. It comprises of gneiss, amphibolite, mica schist, graphitic phyllite, and greenschist. This unit is overlain by the Palelo and Barique Group.

Palelo Group (Cretaceous-Paleocene): Divided into two formations, the Noni Formation, and the Haulasi Formation. In the research area, only the Haulasi Formation is exposed as overlying the Lolotoe/Mutis Complex and is overlain by the Dartollu Limestone. The Haulasi Formation consists of a basal conglomerate, turbidite successions of sandstone, siltstone, and shale.

Dartollu Limestone (Late Paleocene-Middle Eocene): Occurs as dismembered blocks of shallow water Late Paleocene to Middle Eocene thick-bedded limestone deposited above the Palelo Group. The limestone contains abundant large foraminifera such as *nummulites*, *discocyclus* and *alveolina*.

Barique Group (Eocene-Oligocene): Overlying the Dartollu Limestone is the Barique Group. This unit consists of volcanic rock with dacite and dacitic breccia at the base, intercalated basaltic-andesitic pillow lava and volcanoclastic successions intruded by diabase in the middle, and overlain by thick marl at the top of the group. The Barique Group is structurally overlain by ultramafic bodies with unknown affinity and by the Manamas Formation.

Manamas Group (Late Miocene, Banda Arc Affinity):

Mainly comprises of pyroclastic breccia, pillow basalt, and tuff.

(2) Ultramafic Bodies (Unknown Affinity): The origin of the ultramafic complex is not directly known. It consists of dunite and harzburgite, with the upper part mostly metamorphosed to serpentinite. There are 2 hypotheses regarding the origin of the ultramafic bodies: it might be part of the distal Australian continental basement that formed during Permian rifting of Gondwana; it may be part of the Banda forearc upper mantle that forms the roof thrust of the orogenic wedge.

(3) Gondwana Sequence: The Gondwana Sequence of Oecusse forms a thrust duplex beneath the melange and dismembered fragments of the Banda Terrane roof thrust and ultramafic bodies. It mainly comprises of poorly differentiated Permian-Triassic siliciclastics and carbonate of the Cribas, Babulu, and Aitutu Formations. Mud-rich units of the Gondwana Sequence form decollements throughout the region and form the matrix of much of the melange, and mud diapirs and volcanoes throughout Oecusse.

Conclusion: Our study indicates that the research area mostly consists of exposures of a subduction channel where rocks of both Asian and Australian affinity are broken and mixed, and incorporated into mélangé. The Oecusse region is unique because it is essentially a mega-fault breccia with the fault being the collisional suture, or subduction channel, between the Asian and the Australian plates. It also exposes parts of what is likely the youngest ophiolite on Earth.

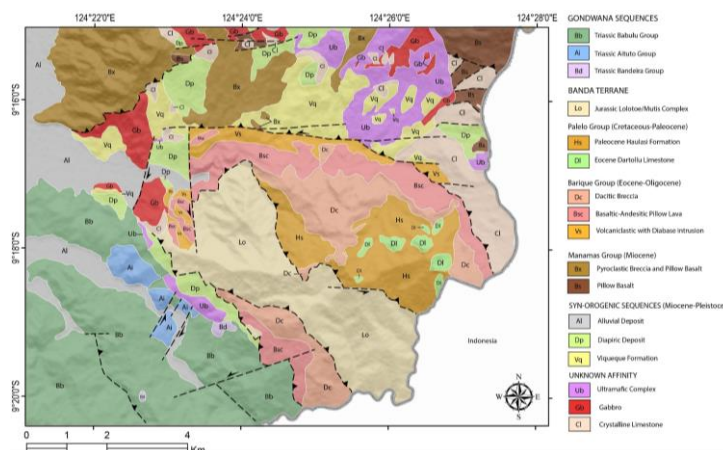


Fig. 4 The Geological Map of the research area produced by the authors.

Acknowledgment: This research has been made possible through funding and support provided by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) and the Instituto do Petróleo e Geologia de Timor-Leste. CITEUC is funding through the project UID/Multi/00611/2020.

Reference

Suwitodirdjo, K., Tjokrosapoetro, S., (1996). Peta Geologi Lembar Kupang-Atambua, Timor, Skala 1: 250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung. Indonesia.

SESSÃO CIENTÍFICA 20 (SC_20)
(Mudanças Globais e Paleoclimatologia)

Conveners: Cristina Veiga Pires; Eric Font; Filipa Naughton

Stable isotopes and Rock Magnetism of stalagmites from the Gruta da Cerâmica, Portugal

Isótopos estáveis e magnetismo das rochas das estalagmites da Gruta da Cerâmica, Portugal

A. R. Brás (1), E. Font (1,2), A. S. Reboleira (3), R. Melo (1), J. E. Spangenberg (4) and P. Fonseca (2)

- (1) Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal anaraquelmarcalo@gmail.com
- (2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luís (IDL), Lisboa, Portugal
- (3) Universidade de Lisboa, Centre for Ecology, Evolution and Environmental Changes (cE3c), Faculdade de Ciências, Departamento de Biologia Animal, Lisbon, Portugal
- (4) University of Lausanne, Institute of Earth Surface Dynamics, Lausanne, Switzerland

Sumário: *Espeleotemas fornecem informações úteis sobre a variação do campo magnético da Terra e condições climáticas do passado. Pesquisas recentes sugerem que a concentração de minerais magnéticos nas camadas de calcite das estalagmites é controlada pela precipitação, vegetação e erosão do solo. Para testar esta hipótese, estudámos quatro estalagmites da gruta da Cerâmica, Penela, Portugal. Realizaram-se medições paleomagnéticas e magnéticas, bem como análises de composição isotópica de carbono e oxigênio. Resultados indicam que as estalagmites registaram uma magnetização primária e estável, onde as direções magnéticas correspondem à direção do campo magnético terrestre no momento da precipitação das estalagmites. Observa-se uma correlação entre a composição isotópica de carbono e oxigênio e o teor de magnetite. Um aumento deste teor corresponde a maior precipitação e maior contribuição de material orgânico. Estas descobertas apoiam estudos anteriores sugerindo que as propriedades magnéticas dos espeleotemas podem ser uma ferramenta útil na reconstrução das mudanças climáticas passadas.*

Palavras-chave: *magnetismo, isótopos estáveis, precipitação, vegetação*

Key Words: magnetism, stable isotopes, precipitation, vegetation

Speleothems are secondary cave deposits formed in karsts. Once dated with precision using radiometric dating, their geochemical and stable isotope composition provide useful information about past climate changes (Fairchild & Baker, 2012). In addition, speleothems contain magnetic minerals, mainly magnetite, transported from the topsoils and deposited into the calcite layers according to the orientation of the Earth's magnetic field (Lascu & Feinberg, 2011; Font *et al.*, 2014). As the concentration of magnetite transported in the stalagmite is mainly controlled by environmental and climate parameters acting on the topsoils, including precipitation, moisture availability, and vegetation cover, the comparison of concentration-dependent magnetic properties together with climate proxies (ex. carbon and oxygen isotope) can provide useful information about past climate changes. Bourne *et al.* (2015) and Burstyn *et al.* (2022) showed that an increase in the concentration of magnetite trapped in the calcite laminae of the stalagmites correlates with increased precipitation acting on soils. Jaqueto *et al.* (2016) rather suggest that vegetation, soil erosion and

aridity are the main factor controlling stable isotope composition and magnetite content.

In this study, we examine four stalagmites from the Cerâmica cave, located in the Sicó Massif, Penela, Portugal. Magnetic measurements were conducted at the laboratory of paleomagnetism of the Department of Earth Sciences of the University of Coimbra, and consisted of alternating field (AF) demagnetization, acquisition of anhysteretic remanence (ARM) and isothermal remanent magnetization (IRM) curves, measurement of mass-specific magnetic susceptibility, hysteresis curves, and FORC diagrams. IRM curves were analyzed based on a Skewed Generalized Function using the *MaxUnmix* software (Maxbauer *et al.*, 2016). The samples were also analyzed by Diffusive Reflectance Spectroscopy (DRS) and X-Ray fluorescence (XRF). Carbon and oxygen isotope composition was measured at the University of Lausanne, Switzerland.

After AF cleaning, samples showed well-defined and well-clustered magnetic directions, consistent with the present-day geomagnetic field. Hysteresis parameter and FORC diagrams indicate that the

samples contained a mixture of low coercivity population of non-interacting single domain and superparamagnetic magnetite and high coercivity particles (probably hematite). Oxygen isotope compositions vary from -4.6 to -3.7‰ VPBD and values of carbon isotopic ($\delta^{13}\text{C}$) composition vary from -12.3 and -10.7‰ VPBD.

A moderate negative correlation between the concentration of magnetite and values of the carbon and oxygen isotopic composition is observed in the specimens from the GC.III stalagmite. A higher

concentration of magnetite correlates with more negative values of carbon and oxygen isotope concentrations.

Our data suggest that the input of magnetic minerals input into the cave is mainly controlled by precipitation and soil erosion, supporting previous interpretations of Jaqueto *et al.* (2016). Our findings confirm that rock magnetic properties of speleothems are a reliable tool to explore environmental and climate changes.

Acknowledgments: Ana Raquel Brás was granted by a master research studentship from the Portuguese Science Foundation (FCT). This work was supported by the SAMEPA project funded by FCT (ref. PTDC/CTA-GEO/0125/2021; MIT-EXPL/ACC/0023/2021).

References

- Bourne, M.D., Feinberg, J.M., Strauss, B.E., Hardt, B., Cheng, H., Rowe, H.D., Springer, G. & Edwards, R.L. (2015). Long-term changes in precipitation recorded by magnetic minerals in speleothems. *Geology*, 43(7), 595-598.
- Burstyn, Y., Shaar, R., Keinan, J., Ebert, Y., Ayalon, A., Bar-Matthews, M. & Feinberg, J.M. (2022). Holocene wet episodes recorded by magnetic minerals in stalagmites from Soreq Cave, Israel. *Geology*, 50(3), 284-288.
- Jaqueto, P., Trindade, R.I.F., Hartmann, G.A., Novello, V.F., Cruz, F.W., Karmann, I., Strauss, B.E. & Feinberg, J.M. (2016). Linking speleothem and soil magnetism in the Pau d'Alho cave (central South America). *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 121(10), 7024-7039.
- Fairchild, I. & Baker, A. (2012). *Speleothem Science: From Process to Past Environments*. Wiley-Blackwell, Chichester, 432 pp., cloth, ISBN: 978-1-4051-9620-8
- Lascu, I. & Feinberg, J.M. (2011). Speleothem magnetism: *Quaternary Science Reviews*, 30, 3306–3320.
- Font, E., Veiga-Pires, C., Pozo, M., Carvalho, C., Neto, A.C.S., Camps, P., Fabre, S. & Mirão, J. (2014). Magnetic fingerprint of southern Portuguese speleothems and implications for paleo- and environmental magnetism. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119, 7993–8020.
- Maxbauer, D., Feinberg, J.M. & Fox, D.L. (2016). MAX UnMix: A web application for unmixing magnetic coercivity distributions. *Computers & Geosciences*, 95, 140-145.

Speleothem magnetism: recording the Earth's magnetic field and climate

Magnetismo de espeleotemas: registos do campo magnético terrestre e do clima

E. Font (1, 2), E. M. Sánchez-Moreno (3), A.S . Reboleira (4), A. R. Brás (1), R. Trindade (5), E. Lima (6), J. E. Spangenberg (7), A. HasözbeK (8), J. Parés (8), F.J. Barredo (8), R. Melo (1), J. Carmo (5), L. Dimuccio (9), P. Fonseca (2), L. Edwards (10), J. Feinberg (10), Y. Yokohama (11) and C. V. Pires (12)

- (1) Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia, 3000-272 Coimbra, Portugal font_eric@hotmail.com
- (2) Instituto Dom Luís (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-026 Lisbon, Portugal
- (3) Departamento de Física, EPS, Universidad de Burgos, Burgos, Spain
- (4) Departamento de Biología Animal, Faculdade de Ciências, Centre for Ecology, Evolution and Environmental Changes (cE3c), Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal
- (5) Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 05508-090 São Paulo, Brazil
- (6) Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Ave, Rm. 54-724, Cambridge, MA 02139
- (7) Institute of Earth Surface Dynamics, University of Lausanne, 1015, Lausanne, Switzerland
- (8) Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana, CENIEH, Paseo Sierra de Atapuerca, 309002 Burgos, España
- (9) University of Coimbra, Centre of Studies in Geography and Spatial Planning (CEGOT), FLUC, Department of Geography and Tourism, Coimbra, Portugal
- (10) Department of Earth Sciences, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455
- (11) Department of Earth and Planetary Sciences, University of Tokyo, Kashiwanoha, Chiba 277-8564, Japan
- (12) Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, C7 1.21, 8005-139 Faro, Portugal

Sumário: Os espeleotemas são possíveis registradores das variações do campo magnético e do clima da Terra. Sua idade pode ser determinada com precisão usando datação radiométrica, e as assinaturas magnéticas, geoquímicas e mineralógicas preservadas em suas laminações finas fornecem séries temporais de alta resolução sobre as variações do campo magnético terrestre e do clima. No entanto, o uso das propriedades magnéticas dos espeleotemas como arquivos de mudanças climáticas estão em estágio embrionário e requerem grande amadurecimento antes que possam ser comparáveis aos estudos tradicionais. É apresentada uma revisão do magnetismo do espeleotema, incluindo dados magnéticos das estalagmites portuguesas.

Palavras-chave: espeleotemas, magnetismo, clima

Key words: speleothem, magnetism, climate

Magnetism of speleothems is likely to be a growth area in the near future. Speleothems provide several advantages compared to classical geological archives like archeological artefacts, magmatic or sedimentary rocks. Records from speleothems are mostly continuous and unaffected by diagenetic alteration. Because speleothems are consolidated mineral deposits, problems related to compaction or bioturbation are also avoided. The time between the deposition of magnetic minerals and their immobilization during calcite precipitation is very short, but long enough for magnetic particles to align with the ambient geomagnetic field. In addition, the very thin calcite laminae can be readily dated with high

precision by using radiometric ages (U-Th: up to 500,000 years).

Pioneer magnetic studies in speleothems come from the work of Latham et al. (Latham et al., 1979), who presented paleomagnetic data from stalagmites and introduced speleothems as potential archives for investigating Earth's magnetic field. Over the following two decades, a number of researchers tested and consolidated the field of speleothem magnetism and provided high-resolution records of the Earth's magnetic field (e.g., Osete et al., 2012; Ponte et al., 2018; Trindade et al., 2018; Sanchez-Moreno et al., 2022).

Rock magnetic properties of speleothems have also been used, although to a lesser extent, to aid

paleoclimatic reconstructions based on oxygen and carbon isotopic records. Bourne *et al.* (2015) studied a well-dated stalagmite from Buckeye Creek Cave (USA) and find that changes in magnetite concentration follow both changes in stable isotopes recorded in the same speleothem, regional precipitation, and global climate proxies. Zhu *et al.* (2017) correlated the high magnetic mineral concentration of Chinese speleothems to the high rainfall rate and variability of El Niño cycles during the Holocene over the last 8600 years. Jaqueto *et al.* (2016) used a similar approach in stalagmites from Brazil and suggested that poorly developed vegetation cover during drier periods

resulted in increased erosion and increased input of Fe-rich sediments, and thus higher magnetization, into the cave and vice versa. Burstyn *et al.* (2022) studied the Soreq cave in Israel and evidenced that concentration in magnetite covaries with $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ cyclicity during the mid-Holocene, as the result of rapid fluctuations in rainfall amount. Such approaches are particularly interesting to unravel climate and environmental changes in Portugal, which benefits from a unique patrimony of karsts and caves. Here a review of recent advances in this field is presented, as well as new data obtained in the frame of an ongoing FCT project (ref. PTDC/CTA-GEO/0125/2021).

Acknowledgments: This work is funded by FCT (refs. PTDC/CTA-GEO/0125/2021; MIT-EXPL/ACC/0023/2021) and IDL (ref. FCT/UIDB/50019/2020).

References

- Bourne, M.D., Feinberg, J.M., Strauss, B.E., Hardt, B., Cheng, H., Rowe, H.D., Springer, G. & Edwards, R.L. (2015). Long-term changes in precipitation recorded by magnetic minerals in speleothems. *Geology*, 43, 595-598.
- Burstyn, Y., Shaar, R., Keinan, J., Ebert, Y., Ayalon, A., Bar-Matthews, M. & Feinberg, J.M. (2022). Holocene wet episodes recorded by magnetic minerals in stalagmites from Soreq Cave, Israel. *Geology*, 50, 284-288.
- Jaqueto, P., Trindade, R.I.F., Hartmann, G.A., Novello, V.F., Cruz, F.W., Karmann, I., Strauss, B.E. & Feinberg, J.M. (2016). Linking speleothem and soil magnetism in the Pau d'Alho cave (central South America). *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 121, 7024-7039.
- Latham, A.G., Schwarcz, H.P., Ford, D.C. & Pearce, G.W. (1979). Paleomagnetism of Stalagmite Deposits. *Nature*, 280, 383-385.
- Osete, M.L., Martin-Chivelet, J., Rossi, C., Edwards, R.L., Egli, R., Munoz-Garcia, M.B., Wang, X.F., Pavon-Carrasco, F.J. and F. Heller (2012). The Blake geomagnetic excursion recorded in a radiometrically dated speleothem. *Earth and Planetary Science Letters*, 353, 173-181.
- Ponte, J.M., Font, E., Veiga-Pires, C. & Hillaire-Marcel, C. (2018). Speleothems as Magnetic Archives: Paleosecular Variation and a Relative Paleointensity Record From a Portuguese Speleothem. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 19, 2962-2972.
- Sánchez-Moreno, E.M., Font, E., Pavon-Carrasco, F.J., Dimuccio, L.A., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B. & Cunha, L. (2022). Paleomagnetic techniques can date speleothems with high concentrations of detrital material. *Scientific Reports*, 12.
- Trindade, R.I.F., Jaqueto, P., Terra-Nova, F., Brandt, D., Hartmann, G.A., Feinberg, J.M., Strauss, B.E., Novello, V.F., Cruz, F.W., Karmann, I., Cheng, H. & Edwards, R.L. (2018). Speleothem record of geomagnetic South Atlantic Anomaly recurrence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115, 13198-13203.
- Zhu, Z.M., Feinberg, J.M., Xie, S.C., Bourne, M.D., Huang, C.J., Hu, C.Y. & Cheng, H. (2017). Holocene ENSO-related cyclic storms recorded by magnetic minerals in speleothems of central China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, USA 114, 852-857.

Cave sediments stable isotopic analysis to attempt an environmental reconstruction: the case of Cadaval and Escoural (Portugal) and Postes (Spain) caves

Análise isotópica estável dos sedimentos das caves para tentar uma reconstrução ambiental: o caso das caves Cadaval e Escoural (Portugal) e Postes (Espanha)

V. Lattao (1), H. Collado (2), S. Garcês (3), H. Gomes (3), M. H. Henriques (4), E. Marrocchino (5), P. Rosina (3) and C. Vaccaro (5)

- (1) Geosciences Centre, University of Coimbra, Rua Silvío Lima, Polo II, 3030-790 Coimbra, Portugal; University of Coimbra (Polo II), Faculty of Sciences and Technology, Department of Earth Sciences and Geosciences Centre, Coimbra, Portugal; virginia.lattao@gmail.com
(2) Junta de Extremadura, Calle Cárdenas no 11, 06800 Mérida (Badajoz), Spain; Polytechnic Institute of Tomar, Estrada da Serra, 2300-313 Tomar, Portugal; Geosciences Centre, University of Coimbra, Rua Silvío Lima, Pólo II, 3030-790 Coimbra, Portugal;
(3) Polytechnic Institute of Tomar, Estrada da Serra, 2300-313 Tomar, Portugal; Geosciences Centre, University of Coimbra, Rua Silvío Lima, Pólo II, 3030-790 Coimbra, Portugal;
(4) Geosciences Centre, University of Coimbra, Rua Silvío Lima, Pólo II, 3030-790 Coimbra, Portugal; University of Coimbra (Polo II), Faculty of Sciences and Technology, Department of Earth Sciences and Geosciences Center, Coimbra, Portugal;
(5) Department of Environmental and Prevention Sciences, University of Ferrara, via Saragat, 1, 44122 Ferrara, Italy.

Sumário: Nos últimos anos, a análise de isótopos leves tem sido utilizada para reconstruir variações ambientais em contextos continentais. O nosso objetivo é verificar a possibilidade de aplicar esta metodologia analítica em depósitos de grutas que têm vestígios arqueológicos de ocupação humana. Parte deste trabalho está integrado nos projetos "MTAS" e "FIRST-ART", que estuda as primeiras expressões artísticas na Península Ibérica. O projeto FIRST-ART inclui trabalhos de monitorização das condições ambientais dos contextos ocupados no passado. Está prevista uma metodologia de análises multiproxy que inclui a análise isotópica dos isótopos estável (especificamente $\Delta^{13}C$). Estes são pré-avaliados para verificar se é possível utilizar esta metodologia como um substituto para as reconstruções paleo-ambientais. Os resultados das grutas do Cadaval, Cueva de Los Postes e do Escoural com depósitos de diferentes cronologias serão apresentados e serão comparados com os proxies já criados e as curvas de referência $\Delta^{13}C$.

Palavras-chave: Isótopos, paleoambientes, Quaternário, Grutas na Península Ibérica

Keywords: Isotopes, paleoenvironments, Quaternary, Iberian Caves

Stable isotope analysis is, nowadays, a widely used methodology, to reconstruct environmental variations in continental contexts. The present work aims to present possible applications of this methodology on cave deposits. This methodology has been applied in caves that have been occupied in the past. Specifically for this work, we will present the results obtained at three sites which include deposits of different ages. The three caves are Cadaval and Escoural (Portugal) and Cueva de los Postes (Spain).

Cadaval cave is located in a karstic canyon of the Nabão River, in Portugal. The cave has a very well-preserved stratigraphic sequence ranging from the Upper Pleistocene to the Holocene, specifically Early Bronze Age (Cruz *et al.*, 2015).

The Escoural cave is a natural cavity discovered in 1963. This cave is located about 3 km from the village

of Santiago do Escoural and 15 km from the city of Montemor-o-Novo. In this cave, there are traces of engravings and paintings in the walls. These traces testify human occupation dating back to various periods. In the Middle Palaeolithic, it was used as a refuge by Neanderthal hunter-gatherers (Caldeira *et al.*, 2021; Mauran, 2016).

Cueva de Los Postes is one of the nine natural caves in Fuentes de León municipality. It is in the Southern part of the Spanish Extremadura region, in the province of Badajoz, near by the town of Fuentes de León. In Cueva de Los Postes, a stratigraphic sequence has been highlighted ranging from the Pleistocene period up to the Medieval age (Duque Espino 2022: 175-176; Marín, 2012).

This work is part of the MTAS project and of the European First-Art project (INTERREG V, Espanha-

Portugal (POCTEC)), that studies the first artistic expressions in the territory of the Iberian Peninsula. The First-Art project includes the monitoring of environmental conditions of archaeological sites in caves, applying a multiproxy analysis (Garcês *et al.*, 2020).

The stable isotopes analysis, as a powerful tool for reconstructing the palaeoenvironmental conditions in the Iberian Peninsula, was applied on this project.

The different isotopes of an element are separated according to their mass-to-charge ratio, thanks to mass spectroscopy. Isotope geochemistry is based on the analysis of the different isotope concentrations of various chemical elements that undergo natural variations over time. The data obtained can provide very relevant information about the age and origins of the formations analysed. Furthermore, and this is our case, they can give us information about the environment in which such formations were generated (in this case will be used specifically $\Delta^{13}\text{C}$).

These are pre-evaluated to verify if it is possible to use this methodology as a proxy for the palaeoenvironmental reconstructions (Hoefs, 2009; Berto *et al.*, 2018; Michener *et al.*, 2008).

The isotopic values obtained were compared with NGRIP data. The values acquired in the Escoural and Los Postes caves reflect the geochronological data previously obtained. In this sense, these values indicate that, in the caves where the coldest Upper Pleistocene sequence was identified, the most negative isotopic values were identified. This is the case in the Escoural cave, where $\Delta^{13}\text{C}$ values range from -19 to minus -12. While Los Postes values, taken in the Holocene sequence, range from -6 to -5, and clearly reflect the warmest period. In the case of Cadaval Cave, the values, ranging from -11 to -4, showed the climatic oscillation during the Holocene and are useful for adding information about previous and current archaeological research.

References

- Caldeira, A.T., Schiavon, N., Mauran, G., Salvador, C., Rosado, T., Mirão, J., & Candeias, A. (2021). On the biodiversity and biodeteriogenic activity of microbial communities present in the hypogenic Environment of the Escoural Cave, Alentejo, Portugal. *Coatings*, 11(2), 209.
- Cruz, A.R., & Berruti, G.L.F. (2015). A use-wear analysis of the knapped lithic grave goods from Gruta do Morgado Superior (Tomar, Portugal). *Arqueologia Iberoamericana*, 7(28), 81-94.
- Duque Espino, D. (2011). Anthracology in the Caves of Fuentes de León (Badajoz, Extremadura, Spain): Notes for the Characterization of the Plant Environment of the Neolithic Communities and Roman Period of the SW of the Iberian Peninsula. *Saguntum Extra*, 11(11), 175–176.
- Durán, J.J. & Carrasco, F. (eds.). *Cuevas: Patrimonio, Naturaleza, Cultura y Turismo*. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas, Madrid, 587-600.
- Garcês, S., Collado Giraldo, H., García Arranz, J.J., Oosterbeek, L., Silva, A.C., Rosina, P., Gomes, H., Borrallheiro Pereira, A., Nash, G., Gomes, E., Almeida, N., & Carpetuda, C. (2020). O projeto FIRST-ART – conservação, documentação e gestão das primeiras manifestações de arte rupestre no Sudoeste da Península Ibérica: as grutas do Escoural e Maltravieso. Conference paper: In ARNAUD, José M.; NEVES, César; MARTINS, Andrea, coords. *Arqueologia em Portugal 2020 - Estado da Questão*. Lisboa: Associação dos Arqueólogos Portugueses, p. 513-521. DOI: <https://doi.org/10.21747/978-989-8970-25-1/arqa40>.
- Hoefs, J. (2009). *Stable isotope geochemistry* (Vol. 285). Berlin: Springer.
- Berto, D., Calace, N., Rampazzo, F. & Saccomandi, F. (2018). Isotopi: dalla teoria alla pratica. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, I. ISPRA, Quaderni – Laboratorio 2/2018.
- Marín, C. O. (2012). Estudio faunístico del yacimiento arqueológico “Cueva de los Postes” (Fuentes de León, Badajoz). Unpublished report.
- Mauran, G. (2016). Rock paintings and microorganisms: a new insight on Escoural cave (Master’s thesis, Universidade de Évora). (Issue September).
- Michener, R., & Lajtha, K. (2008). *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science: Second Edition*. In *Ecological Methods and Concepts*. Blackwell Publishing.

Quantificação do carbono azul na biomassa do estuário do Minho (Portugal)

Blue carbon quantification in the biomass of the Minho estuary (Portugal)

V. Lopes (1), M. C. Freitas (1) e X. L. Otero (2)

- (1) IDL - Instituto Dom Luiz e Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C6, Piso 3, 1749-016 Lisboa, Portugal, vplopes@fc.ul.pt
- (2) CRETUS. Departamento de Edafología e Química Agrícola, Faculdade de Biología, Universidade de Santiago de Compostela, Galicia, Spain

Summary: Coastal ecosystems like mangroves, seagrasses, and tidal salt marshes are known as Blue Carbon storage places. These places work as carbon sinks by trapping atmospheric carbon in the biomass (Leaving Aboveground biomass (LAB), Non leaving Aboveground biomass (NLAB) (litter-death plant) and Leaving belowground biomass (LBB) (root and rhizome)) and organic matter present in the sediments. These ecosystems are vital as they produce several benefits and services. This work aims to quantify the blue carbon stocks in the biomass at the Minho estuary marshes. Sixteen sampling points were studied in different plant species patches. Three types of biomass samples (LAB, NLAB, and LBB) have been collected and organic carbon was determined. It was possible to quantify organic carbon (OC) in each biomass type for the different plant species with a total of OC in the Minho estuary of $14\,258 \pm 18,85$ MgC with potential CO₂ emissions of $52\,327 \pm 69$ MgCO₂.

Key words: Blue carbon, biomass, marshes, estuary, Minho

Palavras-chave: Carbono azul, biomassa, sapais, estuário, Minho

O carbono orgânico que é capturado e armazenado nos oceanos e ecossistemas costeiros (mangais, sapais e pradarias marinhas) é referido como Carbono Azul (CA) (Laffoley *et al.*, 2009; Pendleton *et al.*, 2012; Macreadie *et al.*, 2019). Estes ecossistemas têm uma elevada importância no ciclo biogeoquímico do carbono, no bem-estar humano dado que oferecem vários benefícios e serviços e têm um potencial considerável para mitigar as alterações climáticas.

Neste trabalho apresentam-se valores de carbono orgânico para a biomassa do estuário do rio Minho.

O estuário do rio Minho localiza-se no norte de Portugal e nele desaguam os rios Minho e Coura. A sua bacia hidrográfica tem cerca de 17 100 km² e drena substrato ígneo e metamórfico. Os sapais estudados localizam-se tanto na margem direita, em território espanhol, como na margem esquerda do estuário, na zona de confluência do Rio Coura com o Rio Minho (Fig. 1).

Para a realização deste estudo foram efetuadas duas campanhas de campo em fevereiro e junho de 2022 com o objetivo de quantificar o CA armazenado nos sapais do referido estuário.

Colheram-se amostras de biomassa em diferentes manchas de espécies vegetais (*Phragmites australis*,

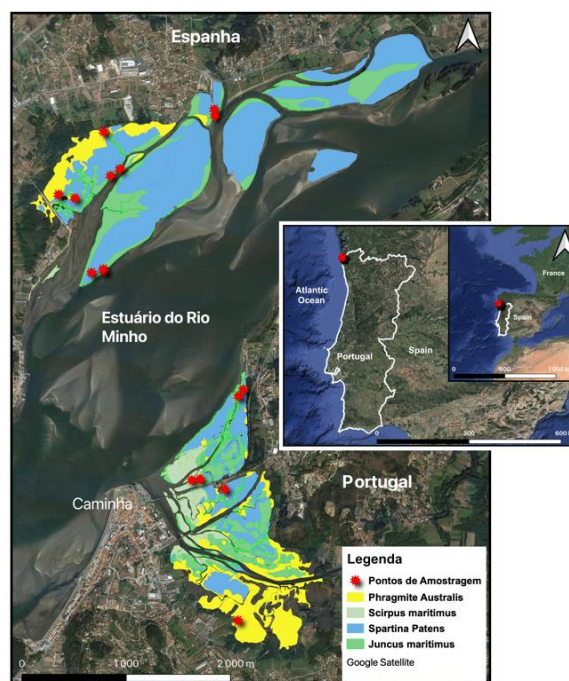


Fig. 1. Localização da área de estudo no norte de Portugal. Posicionamento das amostras estudadas e cartografia das manchas das principais macrófitas existentes no estuário do rio Minho.

Scirpus maritimus, *Juncus maritimus* e *Spartina Patens*) em 16 estações (Fig. 1), tendo-se amostrado em cada estação três tipos de amostra vegetal: parte aérea (PA), manta morta (MM) e parte subterrânea

(PS). A amostragem de biomassa (PA e MM) foi efetuada num quadrado de 60 cm de lado no qual foi cortada e recolhida toda a biomassa aérea e toda a manta morta. Para a biomassa da parte subterrânea foi recolhido um cubo de sedimento de 20 cm de lado contendo as raízes. Foi ainda amostrado em cada estação o sedimento ao longo de um perfil vertical com 1 m de profundidade embora neste trabalho apenas sejam apresentados os valores de carbono relativos à biomassa. Todas as amostras de biomassa (a PS foi primeiramente lavada usando um crivo de 1 mm para retirar todo o sedimento) foram secas em estufa a 60 °C até apresentarem peso constante de forma a obter-se a massa seca de cada tipo de amostra. Utilizou-se uma subamostra representativa, a qual foi moída com recurso a moinho de esferas. O conteúdo de carbono orgânico foi determinado através de um analisador elementar Leco TruSpec® CHN.

As manchas vegetais foram cartografadas em ambiente QGIS v.3.28.2 recorrendo a ortofotomapas descarregados do Portal de dados abertos da Administração Pública (dados.gov) com várias resoluções e datas (1995 (1 m); 2004-2006 (50 cm); 2008 (10 cm); 2018 (25 cm); 2021 (25 cm)) e com validação de terreno.

Os estoques em carbono azul foram calculados de acordo com Howard *et al.* (2014).

Os resultados obtidos mostram que a parte subterrânea em todas as espécies amostradas é a que armazena mais carbono (Fig. 2). Das espécies vegetais amostradas a *Spartina patens* é a que contribui com

maior quantidade de C orgânico por hectare (ha) (Tabela I).

O valor total de carbono azul armazenado na biomassa nos sapais do estuário do Minho é de $14\,258 \pm 18,85$ Mg C contendo um potencial de emissões de CO₂ no valor de $52\,396 \pm 18,85$ Mg CO₂ (Tabela I).

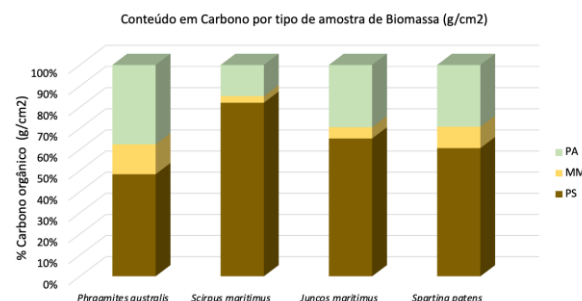


Fig. 2. Conteúdo de carbono orgânico na biomassa das quatro principais macrófitas presentes no estuário do rio Minho para os diferentes tipos de amostras (PA- parte aérea; MM – manta morta; PS – parte subterrânea).

Tabela I – Valores determinados de carbono orgânico e Potencial de emissões de CO₂ armazenado na Biomassa para o estuário do Minho.

Espécie vegetal	Valor médio de C orgânico por espécie vegetal (Mg/ha)	Área (ha)	Valor de carbono orgânico por estratum vegetal e valor total para a Biomassa (Mg C)	
Phragmites australis	30	69	2 108 ± 5,89	14 258 ± 18,85
Scirpus maritimus	21	18	380 ± 1,45	
Juncos maritimus	35	95	3 267 ± 5,72	
Spartina patens	43	199	8 504 ± 16,91	
Potencial de emissões de CO ₂ (Mg CO ₂)			52 327 ± 69	

Agradecimentos: Financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) – UIDB/50019/2020

Referências

- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., & Telszewski, M., (2014). Coastal blue carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows [Manual]. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature, 186.
- Laffoley, D., & Grimsditch, G. D., (2009). The management of natural coastal carbon sinks. IUCN.
- Macreadie, P.I., Anton, A., Raven, J.A., Beaumont, N., Connolly, R.M., Friess, D.A., Kelleway, J.J., Kennedy, H., Kuwae, T., Lavery, P.S., Lovelock, C.E., Smale, D.A., Apostolaki, E.T., Atwood, T.B., Baldock, J., Bianchi, T.S., Chmura, G.L., G.L., Eyre, B.D., Fourqurean, J.W., Hall-Spencer, J.M., Huxham, M., Hendriks, I.E., Krause-Jensen, D., Laffoley, D., Luisetti, T., Marbà, N., Masque, P., McGlathery, K.J., Megonigal, J.P., Murdiyarso, D., Russell, B.D., Santos, R., Serrano, O., Silliman, B.R., Watanabe, K. & Duarte, C.M. (2019). The future of Blue Carbon science. Nature Communications, 10, 3998. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11693-w>
- Pendleton, L., Donato, D.C., Murray, B.C., Crooks, S., Jenkins, W.A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J.W., Kauffman, J.B., Marbà, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D., & Baldera, A. (2012). Estimating global "blue carbon" emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. PLoS One. 7(9): e43542. doi: 10.1371/journal.pone.0043542. Epub 2012 Sep 4. PMID: 22962585; PMCID: PMC3433453.

Reconstructing exported marine primary production along the water column: the IRMAPEX project

Reconstrução da produção primária marinha exportada ao longo da coluna de água: o projeto IRMAPEX

L. Matos (1,2), E. Salgueiro (2,1), A. Rebotim (1,2), C. Lopes (2,1) and F. Abrantes (2,1)

(1) Centre of Marine Sciences (CCMAR), Faro, Portugal; lmatos@ualg.pt

(2) Portuguese Institute for Sea and Atmosphere (IPMA), Lisbon, Portugal

Sumário: O aumento de CO₂ na atmosfera afecta o clima e o oceano, mas é remediado pelo sequestro de carbono, decorrente da produção primária (PP). Metade da PP global advém da fotossíntese marinha, sobretudo nas regiões de afloramento costeiro tais como a margem Ibérica. Para avaliar o impacto de diferentes condições climáticas na eficiência do sequestro marinho de carbono, o projecto IRMAPEX pretende caracterizar as águas subsuperficiais e intermédias presentes na margem Ibérica no Último Glaciar Máximo, no evento frio HS 1, no Máximo Térmico do Holocénico, e no Antropocénico. A PP será reconstruída integrando condições ambientais e associações de diatomáceas via funções de transferência. A exportação de carbono será avaliada a diferentes profundidades, combinando a produção exportada por foraminíferos planctónicos, e razões de Ba/Ca em foraminíferos planctónicos, bênticos e corais de água-fria. O sequestro de carbono no sedimento será reconstruído analisando ainda a concentração de carbono orgânico total.

Palavras-chave: Ciclos do carbono e sílica; Elementos traço; Funções de transferência; Paleoceanografia

Key words: Carbon & silica cycles; Trace elements; Transfer functions; Paleoceanography

Human activities have increased atmospheric carbon dioxide concentrations to unprecedented levels, affecting the climate and ocean systems and impacting life on Earth. The only tool for climate remediation is carbon sequestration, which is a natural consequence of primary production (PP). Half of the global net PP comes from marine photosynthesis, and substantially from the microscopic marine realm of coastal upwelling regions (Field, *et al.*, 1998). These productive areas that support ocean ecosystems, steer the biological carbon pump and regulate the climate (Tagliabue *et al.* 2021 and references therein), are driven by wind direction and strength, also impacted by climate variability. However, observational data is still needed to improve these ecosystems' characterization and the models' capacity to project PP changes, magnitude and spatial distribution (e.g. Tagliabue *et al.*, 2021). Long-term monitoring programs help to characterize the evolution of physicochemical water parameters but their datasets are limited to the last decades; for older time-series data – spanning across natural climatic changes – paleoceanographic records are needed.

The Iberian margin is the northern part of the Canary Upwelling System and is an ideal case study for the impact of climate variability on ocean carbon sequestration (Abrantes, 1988; Broecker, 1982). Both PP and export production have been investigated in the

region using different proxies, exposing the patterns of productivity driven by climate change (e.g. Ausín *et al.*, 2020). However, studies have also revealed (1) the sensitivity of certain proxies to dissolution/preservation conditions (Salgueiro *et al.*, 2010); (2) the occurrence of possible decoupling signals between carbon fixation and sequestration (Abrantes, 2000; Lopes & Mix, 2018); and (3) an under-representation of the processes occurring at subsurface and intermediate ocean depths (~300-1500 m). To truly understand the carbon fixation and sequestration processes involved, we need integrative and multi-proxy studies.

To evaluate the impact of different climatic boundary conditions on the effectiveness of marine carbon sequestration, IRMAPEX project aims to characterize the subsurface and intermediate water conditions at the Iberian margin for specific time-slices: the Last Glacial Maximum, the cold event Heinrich stadial 1, the Holocene thermal maximum, and the Anthropocene. The new records will be combined with existing datasets to reconstruct the export of PP along the water column and its evolution. PP is being reconstructed integrating diatom accumulation rates, assemblages composition and a quantitative PP estimation using a transfer function approach (Lopes *et al.*, 2010). Carbon export is being evaluated at different depths, by combining export production determined via planktonic

foraminifera transfer functions (Salgueiro *et al.*, 2014, 2010), with newly developed Ba/Ca ratios on planktonic and benthic foraminifera species, and cold-water corals. The subsurface nutrient vertical profile will be reconstructed from Ba/Ca analysis on specific planktonic species selected by their living depth (Rebotim *et al.*, 2017), after the regional calibration under development. While, export production at the intermediate and bottom waters is being investigated using benthic foraminifera and cold-water coral Ba/Ca ratios (Spooner *et al.*, 2018). Lastly, carbon burial will be reconstructed using total organic carbon analysis, complemented with organic carbon mass accumulation rates (combining sediment accumulation rate, dry bulk density, grain size, and organic carbon content) as a proxy for burial

efficiency (Stein, 2014). The work planned rely on the team's existing datasets and samples recently improved by additional cold-water coral samples, living planktonic foraminifera and sediment samples collected during two Eurofleets+ cruises, Carbo-Acid and Sines.

The IRMAPEX project is under development in collaboration between the Centre of Marine Sciences (CCMAR) and the DivGM at IPMA. The integrative view of the work proposed will provide essential understanding of the carbon fixation and sequestration processes, fundamental for feeding climate models used for long-term assessments and to promote societal future wellbeing and ocean sustainability. Preliminary data will be presented and discussed.

Acknowledgements: We thank the several cruises teams for data/sample collection; D. Hebbeln (MARUM), A. Freiwald (SaM), Marina R. Cunha (CESAM) and H. de Stigter/F. Mienis (NIOZ) for cold-water coral sample access; EMSO-PT (POCI-01-0145-FEDER-022157); EUROFLEES+ funding of SINES and Carbo-Acid (Ref.SEA2-19) cruises; the MIT-Portugal Program (CoralOx, MIT-EXPL/SOE/0024/2019); and FCT funding for CCMAR (UIDB/04326/2020), ICW3P (PTDC/CTA-CLI/2884/2021), ExploRarE (EXPL/CTA-GEO/1518/2021), and IRMAPEX (2022.05765.PTDC).

References

- Abrantes, F. (1988). Diatom assemblages as upwelling indicators in surface sediments off Portugal. *Marine Geology*, 85, 15–39.
- Abrantes, F. (2000). 200 000 yr diatom records from Atlantic upwelling sites reveal maximum productivity during LGM and a shift in phytoplankton community structure at 185 000 yr. *Earth and Planetary Science Letters*, 176, 7–16.
- Ausín, B., Hodell, D. A., Cutmore, A., & Eglinton, T. I. (2020). The impact of abrupt deglacial climate variability on productivity and upwelling on the southwestern Iberian margin. *Quaternary Science Reviews*, 230, 106–139.
- Broecker, W. S. (1982). Glacial to interglacial changes in ocean chemistry. *Progress in Oceanography*, 11, 151–197.
- Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. G. (1998). Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science*, 281, 237–240.
- Lopes, C., & Mix, A. C. (2018). North Pacific Paleotemperature and Paleoproductivity Reconstructions Based on Diatom Species. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 33, 703–715.
- Lopes, C., Mix, A. C., & Abrantes, F. (2010). Environmental controls of diatom species in northeast Pacific sediments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 297, 188–200.
- Rebotim, A., Voelker, A. H. L., Jonkers, L., Waniek, J. J., ... Kucera, M. (2017). Factors controlling the depth habitat of planktonic foraminifera in the subtropical eastern North Atlantic. *Biogeosciences*, 14, 827–859.
- Salgueiro, E., Naughton, F., Voelker, A. H. L., ... Abrantes, F. (2014). Past circulation along the western Iberian margin: a time slice vision from the Last Glacial to the Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 106, 316–329.
- Salgueiro, E., Voelker, A. H. L., de Abreu, L., ... Wefer, G. (2010). Temperature and productivity changes off the western Iberian margin during the last 150 ky. *Quaternary Science Reviews*, 29, 680–695.
- Spooner, P. T., Robinson, L. F., Hemsing, F., Morris, P., & Stewart, J. A. (2018). Extended calibration of cold-water coral Ba/Ca using multiple genera and co-located measurements of dissolved barium concentration. *Chemical Geology*, 499, 100–110.
- Stein, R. (2014). *Accumulation of Organic Carbon in Marine Sediments: Results from the Deep Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program (DSDP/ODP)*. Springer International Publishing.
- Tagliabue, A., Kwiatkowski, L., Bopp, L., Butenschön, M., Cheung, W., Lengaigne, M., & Vialard, J. (2021). Persistent Uncertainties in Ocean Net Primary Production Climate Change Projections at Regional Scales Raise Challenges for Assessing Impacts on Ecosystem Services. *Frontiers in Climate*, 3.

Planktonic foraminifera reveal sea surface temperature variations at the Portuguese margin during the last 25kyr

Foraminíferos planctónicos revelam variações na temperatura da superfície do mar da margem portuguesa nos últimos 25 mil anos

A. Mega (1,2,3,4), E. Salgueiro (2,3), A. Rebotim (2,3), A. Voelker (2,3), J. Cruz (1,2), E. Calvo (4) and F. Abrantes (2,3)

- (1) University of Algarve, Faro, Portugal; Spain. a73546@ualg.pt
- (2) Centre of Marine Sciences, Faro, Portugal
- (3) Portuguese Institute for Sea and Atmosphere, Lisbon, Portugal
- (4) Institut de Ciències del Mar, Barcelona, Spain

Sumário: A temperatura da superfície do mar afeta a dissolução do CO₂ atmosférico na superfície dos oceanos, uma vez que a solubilidade diminui com o aumento da temperatura. Se a concentração atmosférica global de CO₂ continuar a aumentar no mesmo nível de hoje, prevê-se que o pH médio dos oceanos caia 0,3 unidades de pH nas águas superficiais até o final deste século. Isso potencializaria os impactos dramáticos já observados em organismos calcificadores marinhos. O principal objetivo deste trabalho é reconstruir a temperatura da superfície do mar, durante os últimos 25 mil anos na margem portuguesa. Os resultados preliminares mostram que as águas oceânicas na região do esporão da Estremadura eram mais frias do que na área de Sines, refletindo uma influência mais forte da fria e rica em nutrientes Corrente de Portugal e dos eventos de ressurgência costeira e frontal no Norte.

Palavras-chave: Temperatura da superfície do mar, paleoceanografia, foraminíferos planctónicos, Holoceno, Último Máximo Glacial

Key words: Sea surface temperature, paleoceanography, planktonic foraminifera, Holocene, Last Glacial Maximum

Pre-industrial atmospheric CO₂ concentration oscillated in phase with glacial-Interglacial cycles, with low atmospheric CO₂ concentration during glacial and high atmospheric CO₂ during Interglacial periods (Sigman & Boyle, 2000). However, this natural variability is being intensely altered due to the perturbation caused by the rise of anthropogenic CO₂ emissions during the last decades (Lüthi *et al.*, 2008). One of the factors that control the dissolution of atmospheric CO₂ at the ocean surface is the sea surface temperature (SST), since the solubility decreases with increasing temperature (Pedersen *et al.*, 2003). Because of this, if the global atmospheric CO₂ concentration continues to rise at the same level as today, the average ocean pH is predicted to fall by 0.3 pH units in surface waters until the end of this century (Bindoff *et al.*, 2019). This would potentiate the dramatic impacts already being observed in marine calcifying organisms like planktonic foraminifera (Bijma *et al.*, 2013). Planktonic foraminifera are single celled protists that synthesize shells containing information on the seawater chemical and physical conditions, at the time they lived, making them a reliable tool to investigate past

environmental conditions such as SST (Schiebel *et al.*, 2018).

The main goal of this work is to reconstruct the SST during the Last Glacial Maximum (LGM – relatively cold interval), and the Holocene (warm interval, partially with anthropogenic influence). Temporal high resolution paleodata for both periods is important to reduce the uncertainties of climatic models regionally.

We used sediment samples (deep-sea cores) recovered along the SW Portuguese margin at two sites under different oceanographic conditions: MD03-2699 at the Estremadura spur (northern Site) and Shak-03-6K on the Sines margin (southern Site). The Portuguese margin is part of the Canary Eastern Boundary Upwelling System, with the highest efficiency of the biological pump and sequestration of CO₂ and high sedimentation rate. The age model was developed using stable isotopes ($\delta^{18}\text{O}$), and the SSTs are calculated through the planktonic foraminifera fauna data with SIMMAX, using the non-distance weighted output and the modern analog data base of Salgueiro *et al.* (2010).

Main results (Fig. 1) show that during the LGM, the northern Site average SST is lower than in the south (12.3°C vs. 19.4°C). In contrast, during the Holocene, at both sites, the average summer SST were warmer than during the LGM (Estremadura: 18.9°C; Sines: 21.2°C). During the LGM we find high abundance of species associated with the Azores current, reflecting the warm, stable SST at both locations relative to high mid-latitudinal North Atlantic sites. Simultaneously, the northern site also presents high abundance of species commonly found in the cold Portugal Current, not only during the LGM, but also

during the Holocene. During the Holocene, stable warm summer SST at the northern site were interrupted by three short, abrupt cold events. The first two events could be related to the freshwater input from the melting Laurentide ice sheet, already observed in the North Atlantic.

Cooler conditions in the north than the south most probably reflect the stronger influence of the cold and nutrient-rich Portugal Current and the coastal and frontal upwelling events (due to the confluence of the Portugal and Azores Currents).

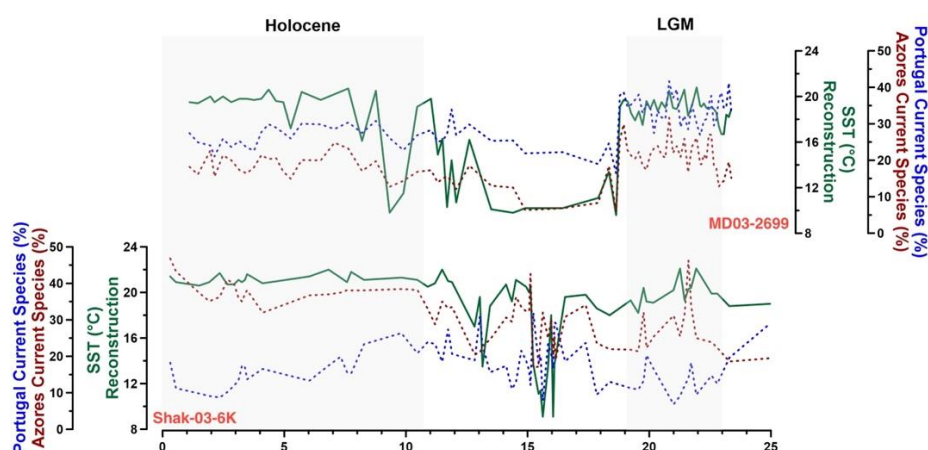


Fig. 1. Portuguese margin sea surface reconstruction from the last 25kyr (green line), % of planktonic foraminifera species (*Neogloboquadrina incompta* and *Globorotalia inflata*) that represent the Portugal Current (blue dotted line), and % of planktonic foraminifera species (*Globorotalia inflata*, *Globigerinoides ruber*, *Trilobatus sacculifer*) that represent the Azores Current (red dotted line) at site MD03-2699 (top graph) and Shak-03-6K (bottom graph).

Acknowledgements: Aline Mega Ph.D. Fellowship: CCMAR01/UIBP/04326/2020

References

- Bijma, J., Pörtner, H. O., Yesson, C. & Rogers, A. D. (2013). Climate change and the oceans - What does the future hold?, *Mar. Pollut. Bull.*, 74(2), 495–505.
- Bindoff, N. L., Cheung, W. W. L., Kairo, J. G., Arístegui, J., Guinder, V. A., Hallberg, R., Hilmi, N., Jiao, N., O'Donoghue, S., Suga, T., Acar, S., Alava, J. J., Allison, E., Arbic, B., Bambridge, T., Boyd, P. W., Bruggeman, J., Butenschön, M., Chávez, F. P. & Whalen, C. (2019). Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities. *Marine Ecosystems*, 5 (447-587).
- Pedersen, T. F., François, R., François, L., Alverson, K. & McManus, J. (2003). The Late Quaternary History of Biogeochemical Cycling of Carbon. In K. D. Alverson, T. F. Pedersen & R. S. Bradley (Eds.), *Paleoclimate, Global Change and the Future* (pp. 63–79). Springer Berlin Heidelberg.
- Salgueiro, E., Voelker, A. H. L., de Abreu, L., Abrantes, F., Meggers, H. & Wefer, G. (2010). Temperature and productivity changes off the western Iberian margin during the last 150 ky. *Quaternary Science Reviews*, 29(5–6), 680–695.
- Schiebel, R., Smart, S. M., Jentzen, A., Jonkers, L., Morard, R., Meilland, J., Michel, E., Coxall, H. K., Hull, P. M., de Garidel-Thoron, T., Aze, T., Quillévéré, F., Ren, H., Sigman, D. M., Vonhof, H. B., Martínez-García, A., Kučera, M., Bijma, J., Spero, H. J. & Haug, G. H. (2018). Advances in planktonic foraminifer research: New perspectives for paleoceanography. *Revue de Micropaléontologie*, 61(3–4), 113–138.
- Sigman, D. M. & Boyle, E. A. (2000). Glacial/interglacial variations in atmospheric carbon dioxide. *Nature*, 407(6806), 859–869.

Magnetic and Mercury fingerprint of burnt soils from Portugal

Propriedades Magnéticas e Mercúrio em solos queimados de Portugal

R. Melo (1), E. Font (1,2) and J. Ribeiro (1,2)

- (1) Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra, 3030-790 Coimbra, Portugal, ruileandromelo@gmail.com
- (2) Instituto Dom Luís (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-026 Lisboa, Portugal

Sumário: Os incêndios florestais têm um impacto significativo no ambiente, incluindo a degradação dos solos e a libertação de mercúrio (Hg) para a atmosfera. Neste trabalho investigámos solos queimados durante o incêndio de Pedrogão Grande em 2017 e o incêndio de 2022 em Condeixa-Nova. A natureza e a concentração dos minerais magnéticos foram determinadas com base nas propriedades magnéticas dos solos e observação através de microscópio eletrónico. A concentração de Hg foi medida recorrendo a um espectrómetro de absorção atómica. Os resultados mostram que os solos queimados são caracterizados por um aumento da suscetibilidade magnética e uma ligeira diminuição na quantidade total de Hg. O teor de Hg, após normalização por Al_2O_3 , diminuiu como resultado da mobilização e lixiviação do Hg no solo. Estes resultados fornecem novos marcadores para identificar incêndios florestais no passado e estudar o destino do Hg libertado e a sua mobilidade no solo.

Palavras-chave: solos, incêndios florestais, magnetite, mercúrio

Key words: soils, forest fire, magnetite, mercury

Forest fires are known to lead to the formation of new magnetic minerals (Clement *et al.*, 2011; Jordanova *et al.*, 2016; Till *et al.*, 2021) and charred organic particles (Belcher *et al.*, 2018) in the topsoil's, and are responsible for the emission of large quantities of mercury (Hg) into the atmosphere. Hg is a global pollutant and is stored in soils through bonding on organic matter, (oxyhydr)oxides and clay minerals. Magnetic enhancement and the presence of charred organic particles can thus serve as potential markers of paleofire in the geological record. However, little is known about the mercury signature of burnt soils and the fate of Hg emitted into the atmosphere after a wildfire (Witt *et al.*, 2009; Campos *et al.*, 2015).

Here we investigate the magnetic properties and mercury content of soils burnt during the 2017 wildfire of Pedrogão Grande and a more recent fire that occurred in Condeixa-a-Nova in August 2022. Magnetic properties and Hg content were measured at the laboratory of Paleomagnetism of the Department of Earth Sciences of the University of Coimbra. The methodology consisted of measuring mass-specific magnetic susceptibility (χ), acquiring isothermal remanent magnetization curves and FORC diagrams, X-Ray fluorescence analysis, Diffusive Reflectance Spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM). Hg was measured by using an atomic absorption spectrometer (RA915 Lab, Lumex instruments).

Maps showing the spatial distribution of Hg and magnetic susceptibility values were elaborated by using Surfer 12, QGIS and ArcGIS.

Results of the 2017 Pedrogão Grande samples show no significant difference in magnetic properties and Hg content between burnt and non-burnt soils. Magnetic susceptibility varies from 0.17 to 6.39 10^{-6} m³/kg. Hg content varies from 18.35 to 127.9 ppb. Results of the 2022 Condeixa-a-Nova samples show that burnt samples have higher χ values, on the order of 2.2 10^{-6} m³/kg, whereas non-burnt samples have χ around 0.6 10^{-6} m³/kg. Hg content varies from 3.5 to 139.6 ppb in the burnt samples, while non-burnt samples have 2.4 to 55.6 ppb of Hg.

Vertical profiles at Pedrogão Grande show a downward migration of Hg after normalization by Al_2O_3 in the first 3-5 cm below the topsoil. No significant magnetic enhancement is noted in the burnt horizons compared to the underlying clays, even after normalization by Al. Secondary spherical magnetite, usually formed by combustion was not observed in the burnt horizons under SEM microscope. Only lithogenic (titano-) magnetite was identified.

In conclusion, our findings show that burnt versus nonburnt topsoil cannot be distinguished based on their Hg content. However, magnetic enhancement may help in identifying burnt horizons in some cases but, this subject, still needs further investigation.

Acknowledgments: Rui Leandro Melo was granted by a master research studentship from the Portuguese Science Foundation (FCT). This work was supported by the SAMEPA project funded by FCT (ref. PTDC/CTA-GEO/0125/2021; MIT-EXPL/ACC/0023/2021).

References

- Belcher, C.M., New, S.L., Santín, C., Doerr, S.H., Dewhirst, R.A., Grosvenor, M.J. & Hudspith, V.A. (2018). What can charcoal reflectance tell us about energy release in wildfires and the properties of pyrogenic carbon? *Frontiers in Earth Science*, 6.
- Campos, I., Vale, C., Abrantes, N., Keizer, J.J. & Pereira, P. (2015). Effects of wildfire on Mercury mobilisation in eucalypt and pine forests, *CATENA*, 131, 149–159.
- Clement, B.M., Javier, J., Sah J.P. & Ross, M.S. (2010). The effects of wildfires on the magnetic properties of soils in the Everglades, *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(4), 460–466.
- Jordanova, N., Jordanova, D. & Petrov, P. (2016). Soil magnetic properties in Bulgaria at a national scale—challenges and benefits, *Global and Planetary Change*, 137, 107–122.
- Till, J.L., Moskowitz, B. & Poulton, S.W. (2021). Magnetic properties of plant ashes and their influence on magnetic signatures of fire in soils, *Frontiers in Earth Science*, 8.
- Witt, E.L., Kolka, R.K., Nater, E.A. & Wickman, T.R. (2009). Forest fire effects on Mercury deposition in the Boreal Forest, *Environmental Science & Technology*, 43(6), 1776–1782.

Can alkalinity enhancement in intertidal environments contribute to reduce atmospheric carbon dioxide?

O aumento da alcalinidade em ambientes intermareais pode contribuir para reduzir o dióxido de carbono atmosférico?

I. Mendes (1), J. Lübbers (1), A. Cravo (1), J. Schönfeld (2), C. Correia (1), P. Grasse (3), A. R. Carrasco (1) and A. Gomes (4)

- (1) Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA) – Universidade do Algarve, Portugal, imendes@ualg.pt
- (2) Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel (GEOMAR), Germany
- (3) German Centre for Integrative Biodiversity Research Halle-Jena-Leipzig (iDiv), Germany
- (4) Centro Interdisciplinar de Arqueologia e Evolução do Comportamento Humano (ICArEHB) – Universidade do Algarve, Portugal

Sumário: Reduzir a concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera para combater o aquecimento global e as mudanças ambientais associadas é um dos principais desafios da humanidade. O processo natural de meteorização das rochas em terra e o consequente aumento de alcalinidade nos oceanos, já remove CO_2 da atmosfera a escalas de tempo geológico. Estudos recentes em laboratório e de modelação, revelam que esse processo pode ser acelerado adicionando minerais alcalinos às zonas costeiras e ao oceano, para mitigar as alterações climáticas em escalas de tempo mais curtas. No entanto, experiências em campo sob condições naturais que permitam avaliar o potencial de sequestro de CO_2 , as mudanças biogeoquímicas associadas, assim como os impactos ecológicos associados ao aumento da alcalinidade, são urgentemente necessários. De forma a contribuir para responder a estas questões, a primeira experiência europeia realizada in-situ, monitorizada continuamente durante 2 anos, foi instalada na laguna costeira da Ria Formosa, no sul de Portugal.

Palavras-chave: Mudanças globais, ação climática, minerais alcalinos, experiência de campo, Ria Formosa

Key words: Global changes, Climate action, alkaline minerals, field experiment, Ria Formosa

To prevent the temperature rising more than 1.5°C above pre-industrial levels and achieve Paris Agreement, technical Carbon Dioxide Removal (CDR) measures are necessary to remove more CO_2 from the atmosphere and to assure its long-term storage (IPCC, 2018). The natural process of weathering on land and the associated increase in ocean alkalinity already removes CO_2 from the atmosphere on geological time scales. This process could be enhanced by adding small grains of alkaline minerals to the ocean and coastal areas to mitigate climate change on short timescales (e.g., Renforth and Henderson, 2017; Bach *et al.*, 2019). However, the rate of CO_2 consumption depends on the type of minerals used, grains size, temperature, pH, and other abiotic parameters (e.g., Feng *et al.*, 2017). Depending on the mineral used, nutrients and other elements can be released during dissolution (Bach *et al.*, 2019) affecting the environment and the biodiversity (Fig. 1). Despite promising results from modelling and laboratory studies (e.g., Montserrat *et al.*, 2017; Feng *et al.*, 2017), field experiments under natural conditions are urgently needed to evaluate the marine CDR potential, associated biogeochemical

changes, as well as the ecological impacts of ocean alkalinity enhancement (e.g., Renforth and Henderson, 2017).

In this context, the project RECAP - REduce atmospheric Carbon by Alkalinity enhancement in intertidal environments: Potential and impacts, funded by the Portuguese Science Foundation, wants to fulfil this knowledge gap by gaining strategic knowledge on the potential benefits and risks of alkalinity enhancement in intertidal environments. This will contribute to define measures for mitigating climate change. For this, a novel in-situ experiment, the first in Europe, was installed in the Ria Formosa Coastal Lagoon (southern Portugal).

The Ria Formosa is a highly dynamic lagoon system, with daily renewal of water and nutrients through multiple tidal inlets. A succession of salt marshes with varying zonation and faunal communities fringes the lagoon. The experiment was installed in an undisturbed zone colonized with *Spartina maritima*, in September 2022. The experimental set-up includes three replicate treatments with coarse olivine, fine olivine, coarse basalt, fine basalt, and an untreated

control. Lagoonal, supernatant, and porewater waters are sampled from each treatment every month and analysed for temperature, salinity, oxygen concentration, pH, total alkalinity, nutrients (NO_3 , NH_4 , PO_4 and SiO_4), and trace metals (e.g., Ni, Cu, Cr). Preliminary data show an increase in total alkalinity in the supernatant and porewaters shortly after minerals deployment, by 0.36 and 2.05 mmol kg^{-1} on average, relative to the control. During the first four months of the experiment, lower values of total alkalinity were recorded in December 2022, followed by markedly lower salinities after a heavy rainfall event in the study area. The experiment will run over two years with monthly sampling for water properties. For monitoring potential biodiversity changes, sediment samples are analysed for floral and faunal composition, including macrofauna, meiofauna, microfauna (benthic foraminifera), diatoms and bacteria, every three months. Results of this novel field experiment will provide strategic knowledge on the benefits and risks of alkalinity enhancement in intertidal environments.

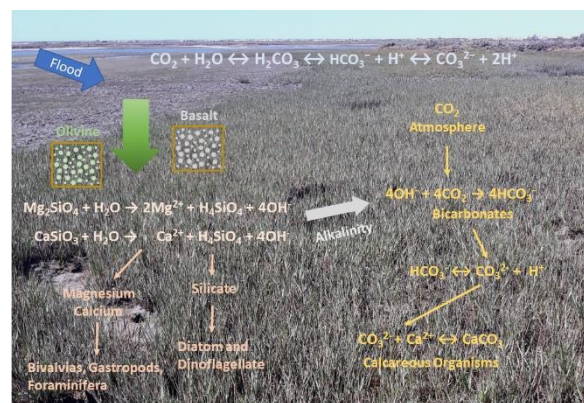


Fig. 1. Example of the chemical reactions occurring in intertidal environments with the deployment of the alkaline minerals (olivine and basalt). The minerals weathering also release nutrients and other elements during dissolution, which may affect the environment and biodiversity.

Acknowledgements: Research supported by the Portuguese Science Foundation, with the projects RECAP-PTDC/CTA-CLI/1065/2021, UID/00350/2020CIMA, LA/P/0069/2020ARNET and contracts DL57/2016/CP1361/CT0009, DL57/2016/CP1361/CT0002 and CEECINST/00146/2018/CP1493/CT0002. The authors acknowledge to all the volunteers who participate in the RECAP field work campaigns.

References

- Bach, L.T., Gill, S.J., Rickaby, R.E.M, Gore, S. & Renforth, P. (2019). CO_2 Removal with Enhanced Weathering and Ocean Alkalinity Enhancement: Potential Risks and Co-benefits for Marine Pelagic Ecosystems. *Frontiers in Climate*, 1:7.
- Feng, E.Y., Koeve, W., Keller, D.P. & Oschlies, A. (2017). Model-based assessment of the CO_2 sequestration potential of coastal ocean alkalization. *Earth's Future*, 5, 1252–1266.
- IPCC (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.*
- Montserrat, F., Renforth, P., Hartmann, J., Leermakers, M., Knops, P. & Meysman F.J.R. (2017). Olivine dissolution in seawater: Implications CO_2 sequestration through enhanced weathering in coastal environments. *Environmental Science Technology*, 51(7), 3960–3972.
- Renforth, P. & Henderson, G. (2017). Assessing ocean alkalinity for carbon sequestration. *Reviews of Geophysics*, 55(3), 636-674.

Major hydroclimate changes during key glacial periods and their terminations in southwestern Europe

Principais mudanças hidroclimáticas durante períodos glaciares chave e consequentes deglaciações, no sudoeste da Europa

F. Naughton (1, 2), T. Rodrigues (1,2), D. Oliveira (2,1); S. Gomes (1); C. Morales Molino (3, 4), D. Hoddel (5), S. Toucanne (6), M. Alonso-Garcia (7), F. Abrantes (1, 2) and M. F. Sanchez Goñi (3,4)*

- (1) Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), filipa.naughton@gmail.com
- (2) Centro de Ciências do Mar (CCMAR)
- (3) Ecole Pratique des Hautes Etudes (EPHE, PSL)
- (4) UMR CNRS 5805 EPOC Université de Bordeaux
- (5) Godwin Laboratory for Palaeoclimate Research, Department of Earth Sciences, University of Cambridge
- (6) Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), Unité de Recherche Géosciences Marines
- (7) Department of Geology-Paleontology, University of Salamanca

Sumário: O aquecimento global está a provocar um aumento na frequência, na duração e intensificação de secas, e um risco acrescido de incêndios florestais, no sudoeste da Europa. Este aquecimento, está a potencializar ainda a rápida fusão da calote de gelo da Groenlândia. A introdução desta água proveniente do degelo afeta drasticamente a Circulação Meridional do Atlântico Norte (AMOC), a qual é responsável pela transferência de humidade para a Europa. A desaceleração da AMOC prevista para 2100 terá certamente um impacto catastrófico no clima das médias latitudes do Atlântico Norte. Neste trabalho iremos explorar as mudanças ocorridas no hidroclima durante períodos chave, incluindo algumas terminações glaciares (TI: ~ 18 kyr; TV: ~ 430 kyr e TVII: ~ 625 kyr) e períodos glaciares que precederam as TV e TVII; algumas apresentando condições similares e/ou distintas à situação atual relacionada com o aquecimento global.

Palavras-chave: Variações hidroclimáticas abruptas, deglaciações, períodos glaciares, SW Europa

Key words: Abrupt hydroclimate shifts, deglaciations, glacial periods, SW Europe

The predicted effects of global warming and unprecedented increase of CO₂ in the atmosphere urgently call to action for improved understanding of climate shifts, in particular those affecting hydroclimate regimes in regions most exposed to global change (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2018). One of the biggest threats of global warming is the acceleration of North Hemisphere ice sheets melting, which can trigger a huge reduction of the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC). This in turn, prevents moisture supply to W Europe but enhances the meridional thermal contrast between North Atlantic (NA) high- and mid-latitudes (Ceasar *et al.*, 2018) having a great impact on the dynamics of the atmospheric circulation and can lead to extreme weather events in SW Europe. The Mediterranean region, including the SW Iberian Peninsula (IP), is considered highly vulnerable to global warming, in particular to increases in the frequency, extent and severity of drought events (Giorgi & Lionello, 2008) and increases the risk of fires. Assessing future climate

change impacts in this highly vulnerable region to prepare societies for the worst climate scenarios and enforce policy makers to implement new adaptation strategies is a main priority. Understand the dynamics of the climate system for periods stretching back beyond the instrumental record that occurred under similar and dissimilar boundary conditions relatively to those experienced at present and in the near future, is one of the major challenge in paleoclimate research.

Climate simulations predict the onset of a quasi-total deglaciation pattern in the future (Pages *et al.*, 2016). Deglaciations and glacial terminations (i.e. transitions between glacial and interglacial periods) over the last 800 kyr are marked by abrupt warmings and rise of CO₂ (e.g. Pages *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2017), being therefore considered ideal natural laboratories to decipher the behaviour of coupled ocean-atmosphere in the context of ongoing global warming. It is essential, therefore, to better understand the behaviour of the climate system during past deglaciations and glacial terminations. Besides

deglaciations and glacial terminations and to better understand the impact of a reduced AMOC on the atmosphere dynamics and explore the eventual processes of moisture transfer to Europe, it is also crucial understand coupled ocean-atmosphere changes during some key glacial periods in which AMOC was almost shutdown. Thus, we focused our research, using a coupled direct sea-land comparison approach on site U1385 (Western Iberian Margin) to explore the last deglaciation, including the last glacial termination (TI: ~ 18 kyr), and other key past glacial terminations (TV: ~ 430 kyr and TVII: ~ 625 kyr). These transitional periods reveal close similarities with the ongoing global warming such as the steep rise in temperatures, CO₂ and sea-level caused by the rapid retreat of ice sheets. Moreover, this set of glacial terminations has other similarities and dissimilarities between them such as astronomical configuration, levels of greenhouse gases (GHG) concentration, and ice volume extent. Also, only few direct sea-land comparison records exists for past glacials, and none is available for the most severe glacials occurring after the middle Pleistocene transition such as the Marine Isotopic Stages (MIS) 16 (621–676 ka) and MIS 12 (424–478 ka). Both glacials are characterised by increasing ice volume since the glacial onset until the beginning of deglaciations and are marked by major instabilities of Northern Hemisphere ice sheets during the glacial onset, before the peak glacials and during deglaciation. The major difference between the two glacials is associated with the meridional SST patterns in the North Atlantic region which has been attributed to a more northern position of the Arctic front during MIS 16 when compared to MIS 12.

Pollen analysis show that glacials MIS 12 and MIS 16 are marked by 3 main episodes of semi-desert plants expansion (dry conditions) intercalated by two episodes of heathland expansion (wet conditions). This long term variability, with a periodicity of ~21 ky show that major vegetation changes are mainly controlled by precession. Curiously this moisture changes have an opposite pattern between these two glacials in SW Europe. The comparison between site U1385 sea surface temperatures (SST) and other available SST data from the North Atlantic show changes of high to low thermal contrast between mid- and high latitudes of the North Atlantic, also coinciding with main vegetation changes. However, this latitudinal SST comparison further show changes in the position of both the arctic front and polar jet stream, and the distribution of precipitation (zonal or meridional) over Europe, is mainly controlled by SST at mid-latitudes of the North Atlantic. During terminations, semi-desert plants are very rapidly replaced by temperate trees but they only attain maxima expansion several thousand years later. SST abruptly increase during terminations but also attain maximum values after. The main cause of this delay is linked to the still presence of Ice sheets in the northern hemisphere. We will present all other processes that interplay during terminations and will suggest some possible scenarios that can happen if ice sheets continues to melt in the future. We will further show the importance of atmosphere dynamics in distributing humidity over Europe in case AMOC shuts down.

Acknowledgements: This research was in part supported by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) through the Hydroshifts project (PTDC/CTA-CLI/4297/2021).

References

- Caesar, L., Rahmstorf, S., Robinson, A., Feulner, G., & Saba, V. (2018). Observed fingerprint of a weakening Atlantic ocean overturning circulation. *Nature* 556 (7700), 191. <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0006-5>.
- Giorgi, F. & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 63, 90-104. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2007.09.005
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K.L., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijioka, Y., Mehrotra, S., Payne, A., Seneviratne, S.I., Thomas, A., Warren, R. & Zhou, G. (2018). Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: *Global Warming of 1.5°C*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 175-312. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.005>.
- Pages: Past Interglacials Working Group (2016). Interglacials of the last 800,000 years. *Reviews of Geophysics*, 54(1), 1-172. <https://doi.org/10.1002/2015RG000482>.
- Rodrigues, T., Alonso-García, M., Hodell, D.A., Rufino, M., Naughton, F., Grimalt, J.O., Voelker, A.H.L. & Abrantes, F. 2017. A 1 Ma record of Sea Surface Temperature and extreme cooling events in the North Atlantic: a perspective from the Iberian Margin. *Quaternary Science Reviews* 172, 118-130. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.07.004>

Perdas e danos associados a cheias e inundações, no período de 1926 a 2021, em Moçambique, a partir de uma base de dados de incidência local

1926 – 2021 flooding losses and damages in Mozambique: Approach from a local database incidence

H. Nghanhane (1, 2), A. Tavares (2), P. Santos (3) e G. Dge-Dge (4)

- (1) Faculdade de Ciências Exactas e Tecnológicas, Universidade Púnguè (Moçambique), nganhanehelio@gmail.com
- (2) Universidade de Coimbra, CES, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra (Portugal)
- (3) Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa (Portugal)
- (4) Faculdade de Ciências da Terra e Ambiente, Universidade Pedagógica (Moçambique)

Summary: Mozambique due to its geographical location is frequently affected by climatic events, in particular depressions, storms and tropical cyclones that often cause flooding processes. In the last 10 years, the frequency of these events has increased and consequently the social and economic losses have also been amplified. This work presents results from ongoing research to create a database, using local incidence analysis, collecting and evaluating damages and losses associated with flooding processes. The database relying on hemerographic information and cross-checking data from official reports and international databases shows, for the period encompassing 1926 and 2021, 996 flood events where 3237 people dead, 1510 people were injured, 2821639 people were displaced, and 10604520 were affected. The southern and central Mozambique have been the regions most exposed to flood and inundation processes. The outputs from the research could improve the disaster risk management system in Mozambique.

Keywords: Floods, Database, Disasters, Mozambique

Palavras-chave: Inundações, Base de Dados, Desastres, Moçambique

Introdução

As cheias em Moçambique ocorrem naturalmente em quase todas as bacias hidrográficas principais. A frequência destas cheias tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. As que ocorrem em territórios densamente habitados causam maiores danos humanos e nas infraestruturas (Jongman, 2018; Vilanculos, 2021). Para melhor analisar, gerir e responder aos eventos extremos derivados das cheias é preciso contar com informações históricas confiáveis e com as bases de dados existentes sobre esses desastres. Ambos, podem fornecer informações cruciais sobre as prováveis causas, frequências e sobre os locais mais afetados (Rilo *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2014; Zêzere *et al.*, 2014). Os mais usados à escala global são o EM-DAT, Nat Cat Service, GRIP (Global Risk Identification Program) e o DesInventar. Estas bases de dados empregam na sua maioria dados governamentais, de agências da ONU, ONGs, instituições de pesquisa, empresas de seguros e meios de comunicação (Tschoegl *et al.*, 2006; Wirtz *et al.*, 2014). Neste trabalho apresentam-se as perdas resultantes das cheias e inundações usando uma base de dados de construção própria, a qual foi desenvolvida tendo em conta os critérios metodológicos usados pelo EM-DAT e o DesInventar.

Metodologia

A metodologia usada para criação da base de dados é inspirada fundamentalmente no Projeto DISASTER desenvolvido em Portugal, cuja descrição foi apresentada por Pereira *et al.* (2014); Santos *et al.* (2014) e Zêzere *et al.* (2014). Esta metodologia também incluiu as descritas por Du *et al.* (2015); Jiménez *et al.* (2012); Wirtz *et al.* (2014). Os impactos humanos, materiais e ambientais foram interpretados e categorizados por distrito.

Resultados

Os dados relativos aos eventos de cheias integrados na base de dados de construção local, bem como os seus impactos estão resumidos na tabela I. Registaram-se 3237 de mortes, 1510 feridos, 2821639 deslocados num universo de 10604520 pessoas afetadas entre 1926 e 2021. No mesmo período registaram-se na base de dados as infraestruturas sociais afetadas pelas cheias/inundações, nomeadamente 691 escolas, 319 centros de saúde, 1093360 casas convencionais e 58253 não convencionais. Foi possível também registar perdas no setor agropecuário, nomeadamente 505836 hectares com culturas diversas perdidas e 21260 cabeças de gado mortas.

Tabela I. Eventos de Cheias e suas consequências sociais no período de 1926-2021

	Danos
Número de pessoas afetadas	10604520
Número de escolas afetadas	691
Número de casas convencionais afetadas	1093360
Número de ocorrências	996
Número de mortes	3237
Número de feridos	1510
Número de deslocados	2821639
Número de casas não convencionais	58253
Número de centros de saúde	319
Gado morto	21260
Número de hectares perdidos	505836

A fig. 1 mostra a frequência mensal das cheias/inundações ao longo do período de 1926 a 2021, sendo que as maiores cheias foram registadas no período de janeiro a março anualmente, com a ausência nos meses de maio e junho.

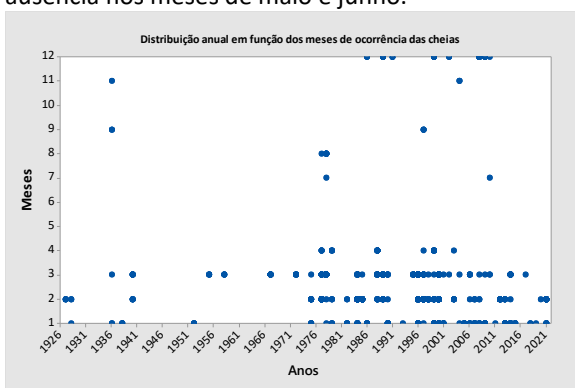


Fig. 1. Gráfico de distribuição anual em função dos meses das cheias de 1926 a 2021

De ponto de vista de distribuição territorial, verificou-se que as regiões sul e centro apresentam maior número de ocorrências, embora com registos de precipitação menores, como mostra a figura 2. Também existem muitos distritos onde não foram registadas ocorrências, não significando que não tenham ocorrido eventos, mas sim por indisponibilidade de dados.

Referências

- Alexander, D. (2016). How to write an emergency plan. *Australian Journal of Emergency Management*, 2015-223
- Jiménez, J. A., Sancho-García, A., Bosom, E., Valdemoro, H. I., & Guillén, J. (2012). Storm-induced damages along the Catalan coast (NW Mediterranean) during the period 1958–2008. *Geomorphology*, 143, 24–33.
- Jongman, B. (2018). Effective adaptation to rising flood risk. *Nature communications*, 1-3.
- Pereira, S., Zêzere, L. J., Quaresma, D. I. & Bateira, C. (2014). Geomorphology Landslide incidence in the North of Portugal: Analysis of a historical landslide database based on press releases and technical reports. *Geomorphology*, 214, 514–525.
- Rilo, A., Tavares, A., Freire, P., Santos, P. P., & Zêzere, J. L. (2017). The contribution of historical information to flood risk management in the Tagus estuary. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22–35.
- Santos, P. P. dos, Tavares, A. O., & Zêzere, J. L. (2014). Risk analysis for local management from hydro-geomorphologic disaster databases. *Environmental Science & Policy*, 40, 85–100.
- Tavares, A. O. (2018). Modelos de Gestão dos Riscos e as Políticas Públicas. *Riscos- Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança* 179-205.

Conclusão

Neste trabalho verificou-se que é possível detetar o nível do impacto de cheias na população e nas infraestruturas usando uma base de dados de incidência local. É importante este tipo de análises para melhorar a resposta e desenho de políticas públicas de modo a reduzir o risco desastres ao nível do território, porque a relevância da gestão das crises é salientada quer pelo impacto nas políticas e nos atores sociais envolvidos (Tavares, 2018), quer na capacitação das organizações (Alexander, 2016; Tavares, 2018; Wehn *et al.*, 2015).

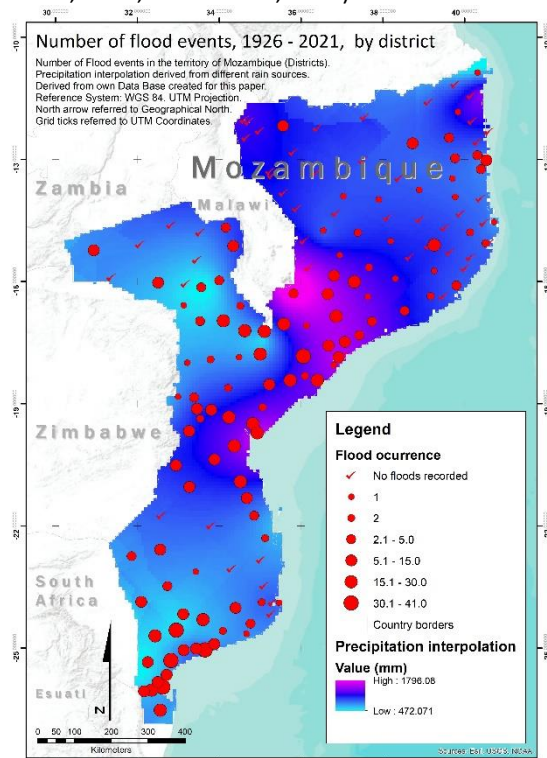


Fig. 2. Mapa de distribuição territorial das ocorrências por distrito, interpolado com dados de precipitação. anual em função dos meses das cheias de 1926 a 2021

Eventos meteorológicos extremos de ciclones tropicais e seus grandes impactos em Moçambique, no período de 1926 a 2021

Meteorological extreme events of tropical cyclones and their large impacts in Mozambique during the period 1926 to 2021

H. Nghanhane (1, 2), A. Tavares (2), P. Santos (3), A. Fernández-Sánchez (4)

(5) Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Púnguè (Moçambique), nganhanehelio@gmail.com

(6) Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, CES, Faculdade de Ciências e Tecnologia (Portugal)

(7) Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa (Portugal)

(8) Departamento de Geografia, Universidad Complutense de Madrid, Calle Profesor Aranguren s/n. 28040, Madrid, Espanha

Summary: *The tropical cyclones monitoring and forecasting in Mozambique are based on short databases that sometimes led to deficient interpretations due to unaccurate equipment and low human resources. Misinterpretations are also related to recognized unstable climate conditions in the ocean realm. We need to better know the history of these events as Mozambique has been frequently devastated by tropical cyclones. We sought to find out the history of large tropical cyclones which caused human and material impacts on Mozambican territory, starting from 1926 to 2021. In this interval, 34 tropical cyclones were quite devastating and had severe human, material and environmental impacts. Facing this scenario, an efficient national strategy for tropical cyclone disaster risk management is urgently needed.*

Keywords: *Tropical cyclones, Mozambique, risk management*

Palavras-chave: *Ciclones tropicais, Moçambique, gestão de risco*

Introdução

A maior parte das zonas litorais do mundo aumentaram seus processos energéticos extremos, aumentando também a sua vulnerabilidade (Garrote *et al.*, 2018). Moçambique não é uma exceção e com o agravante de ter 60% da população exposta a estes desastres. Com objetivo de reconstruir o histórico dos ciclones tropicais que fizeram *landfall* em Moçambique e por conseguinte entender os seus impactos de modo a contribuir para uma melhor planificação da gestão territorial, social e económico de modo a reduzir o risco desastres. Existem dados relativos aos danos causados pelo episódio que ocorreu em 1926. No entanto, não existem nas bases de dados da Meteo-France ou NOAA, informações relativas à intensidade dos ventos durante este desastre.

Metodologia

Foi usada a base dados da Meteo-france LR-RSMC (http://www.meteo.fr/temps/domtom/La_Reunion/webcmrs9.0/anglais/index.html), associada à base de dados da NOAA através do projeto IBTRACS (<https://ncics.org/ibtracs/index.php?name=Grid-26322>) explicado no artigo de Knapp *et al.* (2018), para aferir as trajetórias, os dias de Landfall, permanencia no continente e a velocidade do vento. Para associar os ciclones tropicais aos impactos humanos e sociais foi utilizada uma base de dados construída através de

dados hemerográficos, uma metodologia referenciada por Du *et al.* (2015); Santos *et al.* (2014); Zêzere *et al.* (2014) e Jiménez *et al.* (2012), e aplicada a diferentes contextos e processos.

Resultados

Os ciclones tropicais em Moçambique surgem no Sudoeste do Oceano Índico (SWIO) com base na região central da bacia VI, entre os meses de outubro a abril (Lin *et al.*, 2013; Malan *et al.*, 2013; Mavume *et al.*, 2009), com maiores magnitudes detetadas entre janeiro e março. Anualmente na região SWIO formam-se em média 10 a 12 sistemas tropicais (Leroux *et al.*, 2018; Manhique *et al.*, 2021; Mavume *et al.*, 2009) mas nem todos atingem a parte continental de Moçambique. Neste trabalho apresentam-se os ciclones tropicais que causaram danos humanos, perdas materiais e impactos nos sistemas socioeconómicos. De 1926 a 2021 foi possível identificar 61 ciclones tropicais (CT) que atingiram Moçambique com impactos consideráveis. Destes, 34 tiveram maior magnitude e determinaram maiores impactos como ilustra a figura 1. A partir de 1992 há uma maior frequência de ciclones com características de maior devastação. Salientam-se nesta série os ciclones de 1999/2000 (CT-Eline), 2002/03 (CT-Japhet), 2007/08 (CT-Jokwe), 2011/12 (CT-Dango), 2016/17 (CT-Dineo), 2018/19 (CT-Idai e Kenneth) e 2020/21 (CT-Eloise). As províncias mais afetadas ao

longo deste período são as províncias de Sofala, Inhambane e Zambézia, sendo a região centro do país a mais afetada de acordo com a fig. 2.

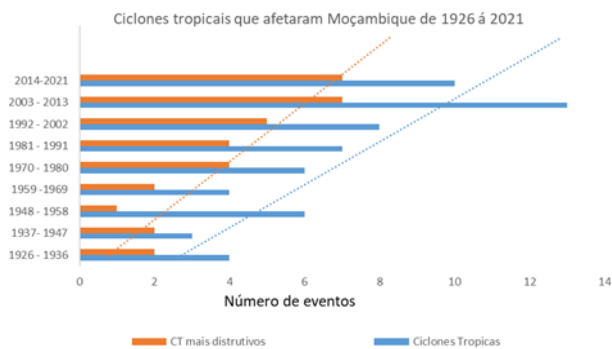


Fig. 1 – Evolução dos ciclones tropicais que afetaram Moçambique

De 1992 até 2021 os ciclones tropicais em Moçambique causaram 1823 mortes, destruíram 700732 casas convencionais e não convencionais, 1192 centros hospitalares, 5193 escolas e contribuiu para uma série de outros danos na agricultura e no meio ambiente.

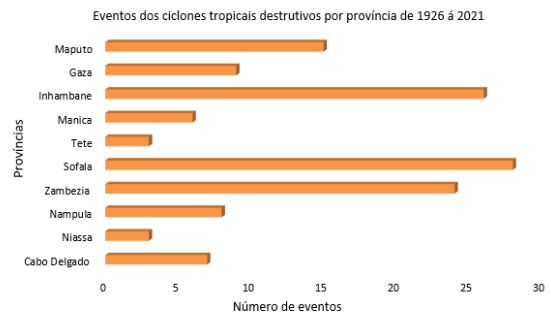


Fig. 2 - Distribuição dos eventos por províncias.

Conclusão

O aumento do impacto devastador dos ciclones que atingiram o território moçambicano deve-se a causas sociais e demográficas. Aumentou a população e as construções em locais de risco e usando materiais precários, assim como o acesso e registo de dados dos impactos. Vários autores que analisam a sociologia de risco explicam que nem sempre o incremento dos impactos seja proporcional aos parâmetros físicos do perigo, mas sim a fatores sociais e antropogénicos (Mattedi, 2017; Mendes, 2015; Ribeiro, 1995). Realizar este tipo de estudos é importante para saber o histórico e conseguinte, delinear políticas de gestão deste tipo de desastres (Alexander, 2016; Tavares, 2018; Wehn *et al.*, 2015).

Referencias

- Bié, A. J. (2022). Ciclones tropicais no Sudoeste do Oceano Índico: representação em reanálises atmosféricas e experimentos de sensibilidade com modelo regional acoplado (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Garrote, J., Díaz-Álvarez, A., Nganhane, H. V., & Garzón Heydt, G. (2018). The severe 2013–14 winter storms in the historical evolution of Cantabrian (Northern Spain) beach-dune systems. *Geosciences*, 8(12), 459.
- Jiménez, J. A., Sancho-García, A., Bosom, E., Valdemoro, H. I., & Guillén, J. (2012). *Storm-induced damages along the Catalan coast (NW Mediterranean) during the period 1958-2008*.
- Knapp, K. R., Diamond H. J., Kossin J. P., Kruk, M. C., & Schreck, C. J. (2018). International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS) Project, Version 4. [indicate subset used]. NOAA National Centers for Environmental Information.
- Leroux, M. D., Meister, J., Mekies, D., Dorla, A. L., & Caroff, P. (2018). A climatology of southwest Indian Ocean tropical systems: Their number, tracks, impacts, sizes, empirical maximum potential intensity, and intensity changes. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 57(4), 1021-1041.
- Leipper, D. F., & Volgenau, D. (1972). Hurricane heat potential of the Gulf of Mexico. *J. Phys. Oceanogr*, 2(3), 218-224.
- Lin, I. I., Goni, G. J., Knaff, J. A., Forbes, C., & Ali, M. M. (2013). Ocean heat content for tropical cyclone intensity forecasting and its impact on storm surge. *Natural Hazards*, 66, 1481-1500.
- Mattedi, M. (2017). Dilemas e perspectivas da abordagem sociológica dos desastres naturais. *Tempo Social*, 29, 261-285.
- Malan, N., Reason, C. J. C., & Loveday, B. R. (2013). Variability in tropical cyclone heat potential over the Southwest Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(12), 6734-6746.
- Manhique, A. J., Guirruogo, I. A., Nhantumbo, B. J., & Mavume, A. F. (2021). Seasonal to interannual variability of vertical wind shear and its relationship with tropical cyclogenesis in the mozambique channel. *Atmosphere*, 12(6), 739.
- Mavume, A. F., Rydberg, L., Rouault, M., & Lutjeharms, J. R. (2009). Climatology and landfall of tropical cyclones in the south-west Indian Ocean. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 8(1).
- Mendes, J. M. (2015). Sociologia do risco: uma breve introdução e algumas lições. Imprensa da Universidade de Coimbra/Coimbra University Press.
- Santos, P. P. dos, Tavares, A. O., & Zêzere, J. L. (2014). Risk analysis for local management from hydro-geomorphologic disaster databases. *Environmental Science & Policy*, 40, 85–100.

The Permo-Triassic boundary in the N'Condédzi sub-basin, Moatize-Minjova Coal Basin, Mozambique: palynology, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ variation and paleoenvironments

A fronteira Permo-Triássico na sub-bacia de N'Condédzi, Bacia Carbonífera de Moatize-Minjova, Moçambique: palinologia, variação $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ e paleoambientes

Z. Pereira (1), P. Fernandes (2), M. Mendes (1), G. Lopes (2,3), J. Marques (4), R.C.G.S. Jorge (5) and L. Albardeiro (6)

- (1) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Rua da Amieira, Apartado 1089, 4466-901, S. Mamede de Infesta, Portugal.
- (2) Centro de Investigação Marinha e Ambiental, (CIMA), Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139, Faro, Portugal.
- (3) Plants, Photosynthesis and Soil, School of Biosciences, University of Sheffield, Alfred Denny Building, Western Bank, Sheffield S10 2TN, UK.
- (4) Gondwana Empreendimentos e Consultorias, Limitada, Rua 1.335, No. 233, Bairro da COOP, Maputo, Moçambique.
- (5) Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz, Campo Grande, Edifício C6, Piso 4, 1749-016, Lisboa, Portugal.
- (6) Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Bairro da Val d'Oca. Ap. 14, 7601-909 Aljustrel, Portugal.

Sumário: A Bacia carbonífera de Moatize-Minjova em Mozambique, compreende a sub-bacia de N'Condédzi. Esta última possui um registo sedimentar, importante para compreender as principais alterações ambientais ocorridas durante a fronteira Permo-Triássico. Para o estabelecimento da idade da sequência estratigráfica e a identificação dos ambientes deposicionais, foi realizada a revisão do estudo palinoestratigráfico da sondagem CIMT-14, combinada com a análise da variação $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ e complementada com novos dados de palinofácies. As espécies-guia de esporomorfos reconhecidas possibilitaram a identificação de quatro associações, de idade compreendida entre o Pérmico superior (Lopingiano) e o Triássico Superior (Carniano). Os dados de palinologia e as variações de $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$, no limite Permo-Triássico, assinalam uma mudança abrupta dos ambientes deposicionais. Os ambientes dominados por vastos pântanos, onde se depositou o carvão, associado a climas húmidos e quentes, sofreram uma abrupta reorganização para sistemas fluviais em climas áridos e semi-áridos, que marcam o Triássico inicial. O contacto Permo-Triássico é assinalado por uma excursão negativa de $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$, seguido por uma recuperação lenta da variação $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ e da microflora.

Palavras-chave: palinologia, palinofácies, Lopingiano, Induano, Olenekiano, Karoo

Keywords: palynology, palynofacies, Lopingian, Induan, Olenekian, Karoo

The N'Condédzi sub-basin is part of the central Moatize-Minjova Coal Basin (Fig. 1). During the last decades, very few palynological, paleontological, and palaeoecological studies have contributed to the biostratigraphic knowledge of this area, in which they tried to integrate and improve the biostratigraphic correlations in the Permo-Triassic of Moatize-Minjova Coal Basin (Karoo Supergroup, Mozambique). The recent palynostratigraphic study from Galasso *et al.* (2019) was revisited, using improved palynological assessments to constrain the age and paleoenvironments of the CIMT-14 borehole. The Matinde and Cádzi formations were analysed in the latter borehole, with one hundred and one core

samples being studied for palynostratigraphic and palynofacies techniques. Using a qualitative and quantitative approach, the key palynomorph taxa recorded have provided information that suggests three different stratigraphically constrained age assemblages (A to C) ranging from late Permian to early Triassic, namely: A) Lopingian (L3 Biozone, *Osmundacidites senectus*), B) Induan (T1 Biozone, *Densoisporites nejburgii*), C) Olenekian (T2 Biozone, *Platysaccus queenslandi*). Furthermore, a heterogeneous palynofacies assemblage (with common non-opaque phytoclasts and palynomorphs) stands out in the coal-bearing swamp environments

associated with fluvio- depositional systems during Late Permian times.

A coarse-grained conglomerate overlays the Late Permian coal-bearing strata. High-resolution $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ variation across this part of the section denotes a short negative excursion (from 23.5 to -30.5 ‰), which is tentatively attributed to the Permo-Triassic boundary. $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ values remain consistently negative (-26 to -28‰) through a ca. 20 m thick interval of siltstones before returning to mean values recorded during the Late Permian.

The palynofloral record from the latter part of the borehole shows a discrete floral change at the Permo-Triassic boundary. The spore and pollen diversity decrease during the lowermost Triassic (Induan), indicating a mixed Permian-Triassic trend, composed of common gymnosperms pollen and lycophyte spores with the income of new spore taxa. This could correspond to a reworking of the Permian sediments by fluvial erosion of Lower Triassic alluvial systems.

Above this interval, more than 150 m of early Triassic sediments did not preserve palynomorphs, suggesting a slow and gradual flora recovery after the end-Permian biotic crisis. This period ends with a change in sedimentation with the deposition of Olenekian age red beds. The palynological assemblages reveal an

evident decline in the taeniate baccate pollen group, while trilete and monolete spores, monosaccate and non-taeniate baccate pollen, show an increasing trend to the top of the stratigraphic sequence. This tendency may reflect a change to warmer and arid/dry conditions during the early Triassic, probably punctuated by short-lived episodes of high precipitation that allowed the income of new spore taxa.

At the top of the borehole, a Carnian age was defined. No Middle Triassic rocks were identified, corresponding to a sedimentary hiatus that may fit a critical tectonic event with uplift and erosion, as suggested by Fernandes *et al.* (2015).

Despite this, the palynofacies record shows intensely altered and opaque phytoclasts and frequent amorphous organic matter. This could result from prolonged transport or even post-depositional reworked processes.

Altogether, these new results constrain the age of the Karoo Supergroup formations of Mozambique, and it is a significant contribution to a better understanding of the palaeoecological-palaeoclimatic changes that occurred at the Permo-Triassic boundary in continental settings of the central Gondwana.

Acknowledgements: This work was fully supported by the project PALEOCLIMOZ (PTDC/CTA-GEO/30082/ 2017), funded by Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal. The authors would like to acknowledge the financial support of the Portuguese Foundation of Science and Technology (FCT) to CIMA through UIDP/00350/2020. The authors thank Coal India Africana, Limitada and Gondwana Empreendimentos e Consultorias, Limitada, for borehole access and complementary information. LNEG's technicians Irene Sousa and Margarida Valente are acknowledged for laboratory support and sample preparation.

References

- Galasso, F., Pereira, Z., Fernandes, P., Spina, A. & Marques, J. (2019) First record of Permo-Triassic palynomorphs of the N'Condédzi sub-basin, Moatize-Minjova Coal Basin, Karoo Supergroup, Mozambique. *Revue de Micropaléontologie*, 64, 100357.
- Fernandes, P., Cogné, N., Chew, D., Rodrigues, B., Jorge, R.C.G.S., Marques, J., Jamal, D. & Vasconcelos, L. (2015) The thermal history of the Karoo Moatize-Minjova Basin, Tete Province, Mozambique: An integrated vitrinite reflectance and apatite fission track thermochronology study. *Journal of African Earth Sciences*, 112(A), 55-72.

Pequena Idade do Gelo: evidências oceanográficas registadas em sedimentos marinhos da margem Portuguesa

Little Ice Age: oceanographic evidence records in marine sediments from the Portuguese margin

M. Salvado (1), E. Salgueiro (2,3) e F. Abrantes (2,3)

- (1) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), Lisboa, Portugal, marta.flsalvado@gmail.com
 (2) Instituto Português do Mar e da Atmosférica (IPMA), Lisboa, Portugal
 (3) Centro de Ciências do Mar (CCMAR), Algarve, Portugal

Summary: Little Ice Age (LIA) was the most recent cold interval identified in the historical and natural records of the last 4000 years, but there are still many uncertainties about its triggers. This study focuses on the evolution of temperature and productivity towards and during the LIA in two cores collected off Porto, 64-PE332-3/7 and PO287-6G (2000 and 80 meters depth, respectively). Preliminary results of planktonic foraminifera reveal higher abundances of *G. bulloides* in the coastal site, possibly resulting from the higher primary production induced by coastal upwelling. However, the increased abundance of *T. quinqueloba* and *N. pachyderma* marks a cold and nutrient-rich river input. In the most offshore site, the beginning of the LIA is marked by an increase in the relative abundance of tropical and subtropical species accompanied by a decrease of the species associated with the Portugal Current, possibly related to an intensification of the Iberian Polar Current.

Key words: planktonic foraminifera, Little Ice Age, paleoceanography, coastal upwelling, river input

Palavras-chave: foraminíferos planctónicos, Pequena Idade do Gelo, paleoceanografia, afloramento costeiro, influência dos rios

Introdução e motivação. A Pequena Idade do Gelo, conhecida por *Little Ice Age* (LIA), é o intervalo mais frio identificado nos registos históricos e naturais no final do Holocénico (últimos 4000 anos). Apesar de haver muita informação sobre a variação da temperatura durante a LIA, há muitas incertezas quanto a este período e aos mecanismos que lhe deram origem. Pensa-se que durante a LIA a intensidade solar e a corrente quente meridional (AMOC, Atlantic Meridional Overturning Circulation) diminuíram e o índice do processo atmosférico Oscilação do Atlântico Norte (NAO, *North Atlantic Oscillation*) seria negativo, diminuindo assim o afloramento costeiro (*upwelling*) e aumentando as tempestades de inverno e as descargas dos rios. As áreas de *upwelling* costeiro, com ascensão de águas frias e ricas em nutrientes, como acontece na margem portuguesa (Fig. 1), geram produtividade primária e elevada taxa de sedimentação que permite a reconstrução das condições oceanográficas com maior resolução temporal. Este estudo pretende contribuir para um melhor conhecimento da variabilidade oceanográfica ao longo do último milénio, com especial atenção às oscilações climáticas durante a LIA.

Metodologia. Utilizaram-se 2 testemunhos recolhidos ao largo do Porto, 64-PE332 3/7 e PO287-6G a 2000 e

80 m de profundidade, respectivamente (campanhas PACEMAKER, 2011 e PALEO I, 2002) (Fig. 1).

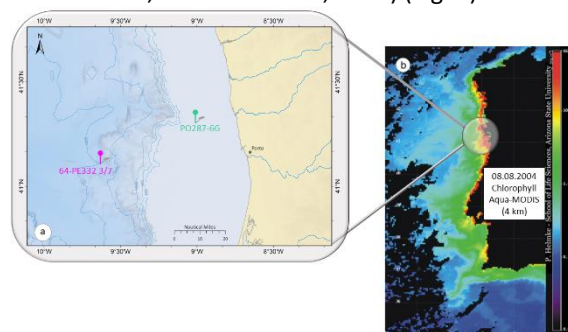


Fig. 1. (a) Localização dos testemunhos 64-PE332 3/7 (2000 m) e PO287-6G (80 m). (b) Dados de satélite de clorofila a (SeaWiFS Project, NASA/Goddard Space Flight Center) (Salgueiro et al., 2008).

O testemunho mais profundo tem influência oceânica e o outro tem influência costeira. Para reconstruir as condições oceanográficas utilizou-se a abundância relativa de foraminíferos planctónicos preservados nos sedimentos. As temperaturas e a produtividade foram estimadas, utilizando a função de transferência SIMMAX 28 (Pflaumann et al., 1996), e comparados com temperaturas estimadas a partir da análise de alcanonas (biomarcadores orgânicos) determinados para os mesmos níveis. As taxas de sedimentação dos testemunhos foram previamente estabelecidas por Abrantes et al. (2011) e Dessandier et al. (2015).

Conclusões a realçar. A abundância relativa de *Globigerina bulloides* (Fig. 2a), espécie associada ao *upwelling* costeiro, apresenta valores mais elevados no testemunho mais costeiro, possivelmente resultante da maior produtividade induzida pelo *upwelling*. No entanto, o aumento da percentagem de *Turborotalia quinqueloba*, de *Neogobioquadrina pachyderma* e da produtividade estimada pelos foraminíferos também no testemunho costeiro (Fig. 2b, c, g) indica a presença de águas frias, menos salgadas e ricas em nutrientes, sugerindo uma maior descarga dos rios (associada a um aumento de alcanos (n-alk, Fig. 2i). A temperatura estimada pelos

foraminíferos aumentou (1,2°C) durante a LIA (Fig. 2f), enquanto a temperatura obtida pelas alcanonas diminuiu 0,4°C (Fig. 2h). Os foraminíferos viverem a diferentes profundidades, pode indicar variações de temperatura em profundidade, mas podem também indicar temperaturas superficiais da água do mar em diferentes estações do ano. Por outro lado, a maior abundância de espécies tropicais e subtropicais (Fig. 2d) acompanhada pela diminuição das espécies associadas à Corrente de Portugal (Fig. 2e) parece evidenciar a intensificação da corrente sub-tropical *Iberian Polar Current* (IPC, Peliz et al., 2005) durante a LIA no testemunho mais profundo.

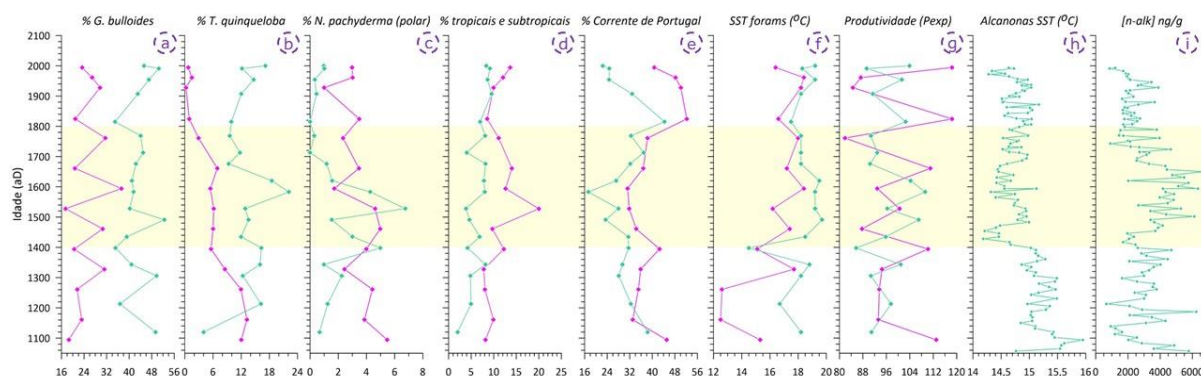


Fig. 2. Testemunho 64-PE332 3/7, a rosa e testemunho PO287-6G, a verde; LIA evidenciada neste estudo pela faixa amarela. (a), (b) e (c) abundância relativa das espécies *G. bulloides*, *T. quinqueloba* e *N. pachyderma* (único foraminífero polar); (d) abundância relativa das espécies tropicais e subtropicais (Kucera et al., 2007); (e) Corrente de Portugal definida pelas espécies *N. incompta* e *G. inflata* (Salgueiro et al., 2008); (f) Temperatura estimada pelos foraminíferos; (g) Temperatura estimada pelas alcanonas (Abrantes et al., 2011); (h) concentração de alcanos (n-alk) (Abrantes et al., 2011).

Agradecimentos: PACEMAKER (Projecto ERC – FP7/2007-2013), que financiou a Campanha onde foi colhido o *multicore* 64PE332 3-7 e aos Projectos ICW3P (PTDCTA-CL128842021) e FCT-CCMAR *funding* UIDB/04326/2020 que financiaram a preparação das amostras para o estudo dos foraminíferos planctónicos.

Referências

- Abrantes, F., Rodrigues, T., Montanari, B., Santos, C., Witt, L., Lopes, C. & Voelker, A. H. L., (2011). Climate of the last millennium at the southern pole of the North Atlantic Oscillation: an inner-shelf sediment record of flooding and upwelling. *Climate Research*, 48, 261–280. DOI: 10.3354/cr01010.
- Dessandier, P., Bonnin, J., Kim, J., Bichon, S., Grémare, A., Deflandre, B., Stigter, H. & Malaizé, B., (2015). Lateral and vertical distributions of living benthic foraminifera off the Douro River (western Iberian margin): Impact of the organic matter quality. *Marine Micropaleontology*, 120, 31-45. DOI: [10.1016/j.marmicro.2015.09.002](https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2015.09.002).
- Kucera, M., (2007). Planktonic foraminifera as tracers of past oceanic environments. In: C. Hillaire-Marcel & A. de Vernal (eds.). *Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography*, Pt. 2: Biological tracers and biomarkers, Elsevier, Amsterdam, 213–262. DOI: [10.1016/S1572-5480\(07\)01011-1](https://doi.org/10.1016/S1572-5480(07)01011-1).
- Pflaumann, U., Duprat, J., Pujol, C. & Labeyrie, L., (1996). SIMMAX: A modern analog technique to deduce Atlantic sea surface temperatures from planktonic foraminifera in deep-sea sediments. *Paleoceanography*, 11(1), 15-35. DOI: 10.1029/95PA01743.
- Peliz, A., Dubert, J., Santos, A.M.P., Oliveira, P.B. & Le Cann, B., 2005. Winter upper ocean circulation in the Western Iberian Basin - Fronts, Eddies and Poleward Flows: an overview. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 52(4): 621-646.
- Salgueiro, E., Voelker, A., Abrantes, F., Meggers, H., Pflaumann, U., Lončarić, N., González-Álvarez, R., Oliveira, P., Bartels-Jónsdóttir, H. B., Moreno, J. & Wefer, G., (2008). Planktonic foraminifera from modern sediments reflect upwelling patterns off Iberia: Insights from a regional transfer function. *Marine Micropaleontology*, 66, 135-164. DOI: [10.1016/j.marmicro.2007.09.003](https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2007.09.003)

Investigating ocean acidification off the Iberian Margin: Preliminary results from the CARBO-ACID cruise

Investigação da acidificação dos oceanos ao longo da Margem Ibérica: Resultados preliminares da campanha oceanográfica CARBO-ACID

E. Salgueiro (1,2), V. Magalhães (1,3), L. Matos (1,2), A. Rebotim (1,2), F. Sousa (4), M. Schweizer (5), M. González Martín (6), A. Mega (1,2,7), L. Batista (1), and on-shore team*

- (1) Portuguese Institute for Sea and Atmosphere, Lisbon, Portugal, emilia.salgueiro@ipma.pt
- (2) Centre of Marine Sciences, Faro, Portugal
- (3) Instituto Dom Luís, FCUL, Lisbon, Portugal
- (4) MARE/ ARNET – Aquatic Research Network, Ciências_Ulisboa & DEGGE, Ciências_ULisboa, Lisboa, Portugal
- (5) Angers University, Angers, France
- (6) University of Salamanca, Salamanca, Spain
- (7) Institut de Ciències del Mar, Barcelona, Spain

Sumário: Para investigar os potenciais efeitos da acidificação nos organismos carbonatados (cocolitóforos, ptéropodes, foraminíferos planctónicos e bênticos, e corais) ao longo da margem Ibérica, realizou-se a Campanha Oceanográfica CARBO-ACID, financiada pelo programa EUROFLEETS+. Nessa campanha foram recolhidas amostras da coluna de água, plâncton, corais e sedimentos para avaliar, os efeitos da acidificação em toda a coluna de água desde a Era pré-industrial até ao Presente. As amostras recolhidas permitirão comparar as variações de pH da água sob diferentes condições forçadoras e estimar a amplitude das mudanças biogeoquímicas no oceano costeiro, à medida que a influência antropogénica aumenta. Ou seja, irão contribuir para melhorar a modelação da resposta do biota às alterações de pH esperadas no oceano num futuro próximo.

Palavras-chave: Afloramento costeiro, acidificação, organismos carbonatados, oceanografia, paleoceanografia

Key words: Coastal upwelling, acidification, carbonated organisms, oceanography, paleoceanography

Since pre-industrial Era the atmospheric carbon dioxide (CO₂) concentrations increased from 280 parts per million vol. (ppmv) to more than 418 ppmv registered presently (Dlugokencky & Tans, 2023), reaching the highest concentration experienced on Earth for the last 800 thousand years. If global emissions of CO₂ continue to rise as the same rate as in the period 2006-2015, the average pH of the ocean's surface water will continue to decline and could potentiate dramatic impacts, already observed in marine biota, especially on carbonated organisms (e.g. Bijma *et al.*, 2013). To investigate the evolution of ocean acidification along the Iberian coastal upwelling system and evaluate its impact on carbonated organisms (coccolithophores, pteropods, planktonic and benthic foraminifera, and corals), we carried out the research cruise CARBO-ACID (EUROFLEETS+), between the 2nd and 11st August 2022, onboard of the RV Ramón Margalef.

During this cruise, 7 sampling stations were occupied along two transects, coinciding with the two persistent upwelling filaments off the Iberia Margin (Fig. 1). At

each station, a multibeam survey, Rosette & CTD, and Plankton tow sampling were performed. All CTD profiles allowed us to identify the different water masses present in each area (Fig. 2) and to recover seawater samples at specific depth levels for various oceanographic analysis. The vertical plankton tows were done at five different intervals of the water column (between 700 m water depth and the surface) with the Multinet sampler. Such sampling allowed the collection of the live planktonic communities living at the different water depths and water masses. Ten box-core stations allowed the recovery the first 60 cm of seafloor sediments to study the oceanographic conditions between the pre-industrial Era and the Present. The eDNA, enzymes and benthic foraminifera were subsampled onboard and the analysis on these and other paleoceanographic and sedimentological proxies are in progress. Fifteen Shipek grab samples were additionally collected at the Station CA6 (Fig. 1) to characterize the sedimentary cover and to collect the cold-water corals.

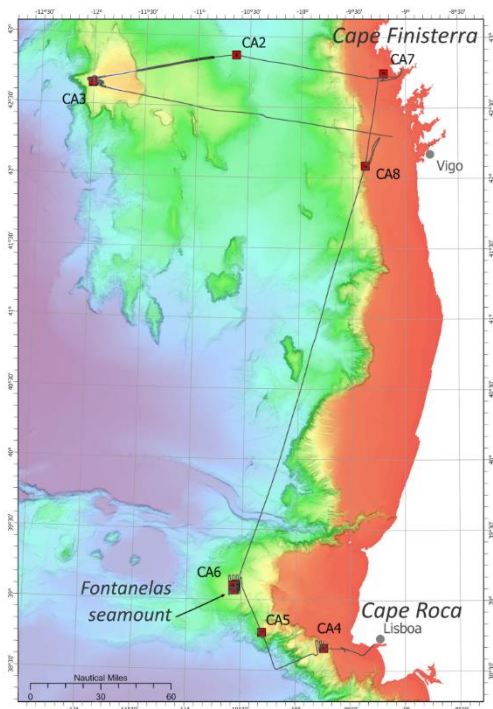


Fig. 1. CARBO-ACID cruise track and sampling stations.

Stations CA7, CA8 and CA4, located close to the coast, as expected, are the most influenced by the coastal upwelling, with colder surface water and higher values of fluorescence, reflecting higher phytoplankton concentrations as typical of the upwelling waters. At station CA4 temperature was higher and fluorescence showed lower values, indicative of less phytoplankton, and interpreted as indicating a different upwelling source waters from that upwelled further north.

Based on the CTD data, at Cape da Roca transect there is more influence of the subtropical East North Atlantic Central Water (ENACWst), while at Cape Finisterre is more under the influence of the subpolar branch (ENACWsp).

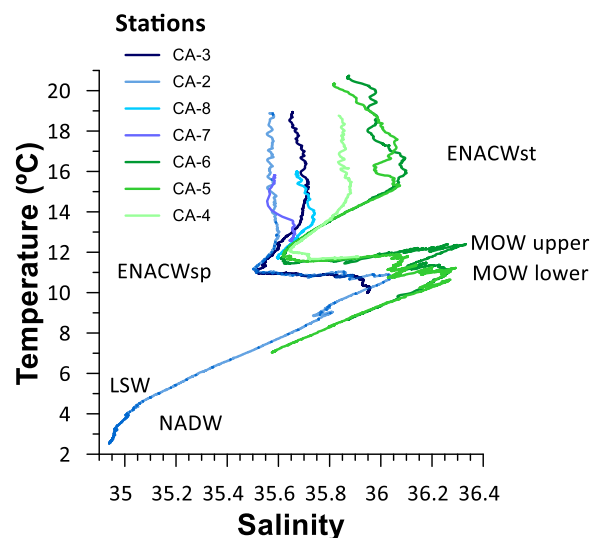


Fig. 2. Temperature-Salinity diagrams of the 7 CTD stations collected during the cruise. Presence of the Eastern North Atlantic Central Water subtropical (ENACWst) and subpolar (ENACWsp) branches; Mediterranean Outflow Water (MOW); Labrador Sea Water (LSW), and the North Atlantic Deep Water (NADW).

The planktonic foraminifera *Globigerina bulloides* collected at Station CA5, influenced by ENACWst, reveal thinner shells in the last 150 years. Furthermore (paleo)oceanographic geochemical, sedimentological and micropaleontological analysis are in progress to understand if the observed changes in the foraminifera shell wall thickness are an effect of acidification or the response to changing upwelling conditions at the Iberian margin.

***On-Shore Team:**

F. Abrantes (IPMA, CCMAR); P. Oliveira (IPMA); C. Roque (IDL/EMEPC); J-A. Flores (Salamanca Univ.); N. Frank (Heidelberg Univ., Germany); F. Mienis (NIOZ, Netherlands); H. de Stigter (NIOZ, Netherlands); E. Douville (LSCE, France), M. Fontela (CCMAR, Portugal –Vigo Univ.); E. Moe (ITQB, Portugal); V. Brotas (MARE – Lisbon Univ., Portugal); A. Tracana (MARE –Lisbon Univ., Portugal); C. Castro (IIM-CSIC, Vigo, Spain); M. Fojan (IIM-CSIC, Vigo, Spain)

Acknowledgements: This campaign was funded by the EUROFLEETS + (SEA2-19). Special thanks to RV Ramón Margalef crew. The analysis was supported from several projects: FCT-CCMAR funding UIDB/04326/2020, MIT-EXPL/SOE/0024/2019, 2022.05765.PTDC, and EXPL/CTA-GEO/1518/2021.

References

Bijma, J., Pörtner, H.-O., Yesson, C. & Rogers, A.D. (2013). Climate change and the oceans - what does the future hold? *Marine pollution bulletin*, 74, 495-505.

Dlugokencky, E. & Tans, P. (2023). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. National Oceanic & Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory (NOAA/ESRL), available at: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>

