



**IX Congresso Jovens
Investigadores em Geociências, LEG 2019**

**Livro de Actas
Abstracts**

IX Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2019



**23 e 24. Novembro. 2019
Pólo de Estremoz da Universidade de Évora**





IX Congresso Jovens
Investigadores em Geociências, LEG 2019

Livro de Actas
Abstracts

IX Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2019



23 e 24. Novembro. 2019
Pólo de Estremoz da Universidade de Évora





IX Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2019

23 E 24.NOVEMBRO.2019

EDITORES

Vânia Silva

Adriana Batista

Mário Silva

TIRAGEM: 70 cópias

GRÁFICA: Serviço de reprografia da Universidade de Évora

Centro Ciência Viva de Estremoz, Estremoz, Portugal

COMISSÃO ORGANIZADORA

Adelina Gomes (1,2), Adriana Batista (1,2), Alexis Soares (1,2), Alice Carretas (1,2), André Paiva (1,2), Cristina Florêncio (1,2), Eduardo Pereira (1,2), Florbela Cebola (1,2), Francisco Nascimento (1,2), Ilda Godinho (1,2), Isabel Machado (1,2), Lisa Mira (1,2), Miguel Gonçalves (1,2), Mário Silva (1,2), Patrícia Pereira (1,2) Rui Dias (1,2,3,4), Rute Canhoto (1,2), Sandra Espada (1,2), Susana Campos (1,2), Vânia Silva (1,2).

(1) Pólo de Estremoz da Universidade de Évora

(2) Centro de Ciência Viva de Estremoz

(3) Instituto Ciências da Terra (ICT)

(4) Departamento de Geociências da ECTUE

COMISSÃO DE HONRA

António Ribeiro

Professor Emérito da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Francisco Ramos

Presidente da Câmara Municipal de Estremoz

Rui Dias

Diretor Executivo do Centro Ciência Viva de Estremoz

Mourad Bezzeghoud

Director da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora

COMISSÃO CIENTÍFICA

Alexandre Araújo	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
Amélia Paula Dias dos Reis	Universidade do Minho
Ana Cristina Azerêdo	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
António Mateus	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Artur Sá	Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Beatriz Valle Aguado	Universidade de Aveiro
Bento Caldeira	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
Carlos Leal Gomes	Universidade do Minho
Carlos Marques da Silva	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Carlos Ribeiro	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
César Andrade	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Clara Vasconcelos	Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Conceição Freitas	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Cristina Gama	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
Deolinda Flores	Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Diamantino Pereira	Escola de Ciências da Universidade do Minho
Fernando Noronha	Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Francisco Fatela	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Gil Machado	GALP
Hélder Chaminé	Instituto Superior de Engenharia do Porto, Politécnico do Porto
Helena Sant'Ovaia	Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Isabel Fernandes	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Isabel Duarte	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
Joana Ribeiro	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
João Cabral	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
João Duarte	Instituto Dom Luiz
João Mata	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Jorge Bonito	Universidade de Évora
Jorge Costa Pedro	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
Jorge Pamplona	Escola de Ciências da Universidade do Minho
Jorge Relvas	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
José António Almeida	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
José Borges	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
José Brilha	Escola de Ciências da Universidade do Minho
José Mirão	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
José Piçarra Almeida	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
Judite Fernandes	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
Luís Lopes	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
Luís Matias	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Maria do Rosário Azevedo	Universidade de Aveiro
Maria do Rosário Carvalho	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Maria dos Anjos Ribeiro	Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Maria Elisa Preto Gomes	Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Mário Cachão	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Mourad Bezzeghoud	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
Noel Moreira	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
Nuno Lourenço	Centre of Engineering and Product Development
Nuno Pimentel	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Octávio Mateus	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
Óscar Ferreira	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve
Patrícia Moita	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora

Paulo Fernandes	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve
Paulo Fonseca	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Paulo Pereira	Escola de Ciências da Universidade do Minho
Pedro Nogueira	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
Pedro Proença e Cunha	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Raúl Jorge	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Rita Fonseca	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
Rui Dias	Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
Rui Taborda	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Telmo Bento dos Santos	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Zélia Pereira	Laboratório Nacional de Energia e Geologia

ÍNDICE
INDEX

Agradecimentos Greetings	I
Programa Program	II
Painel de Comunicações orais Panel for oral communications	III
Painel de Comunicações em Poster Panel for poster communications	IV
Índice Index	V
Oradores convidados Invited Speakers	1
<i>O Lítio e a sua prospeção com origem em pegmatitos</i>	3
<i>Late Jurassic sauropods from the Lusitanian Basin: a valuable paleontological heritage</i>	6
20 Anos de tectónica de placas amolecidas e um teste nos Açores	10
<i>Simulação da qualidade de águas superficiais – um estudo de caso transfronteiriço</i>	11
<i>Hacia un Planeta sostenible, el papel de la juventud geológica y el apoyo del Programa Internacional de Ciencias Geológicas UNESCO-IUGS</i>	17
Comunicações orais Oral communications	22
<i>The Lamas de Olo microgranite and lamprophyre veins: Petrography and Anisotropy of Magnetic Susceptibility</i>	23
<i>Mineralizações de W e Sn, os principais tipos de controlo no NW Peninsular</i>	27
<i>Estudo Gravimétrico em Contexto Granítico no Concelho de Amares</i>	31
<i>Biotite porphyroblast microstructures in the Almendra (Vila Nova de Foz Côa) region</i>	35
Petrologia dos encaves da erupção vulcânica de Bakrite (Marrocos): contributo para o conhecimento da estrutura da crosta e do manto no Médio Atlas	39
Interpretação dos dados Gravimétricos para a região mineira de Neves-Corvo (Faixa Piritosa Ibérica)	43
Cyclicality in an overall regressive trend – an integrated approach to a Late Jurassic shallow marine succession North of São Martinho do Porto (Lusitanian Basin)	47
Resultados preliminares de uma experiência com traçador fluorescente (praia da Costinha - Aveiro, Portugal)	51
Indications and limitations of gama-ray spectrometry of Late Jurassic mixed facies, north of São Martinho do Porto (Lusitanian Basin)	55
Estudo de paleocorrentes nos Complexos Toca da Moura e Cabrela (Zona de Ossa-Morena): implicações na morfologia da bacia de sedimentação mississípica	59

Biostratigrafia, paleoecologia e paleobiogeografia de palinórfos do Cenomaniano médio da Nazaré (Portugal)	63
Balanídeos do Pliocénico de Vale de Freixo (Pombal, Portugal): dados preliminares	67
Âmbar: a jóia esquecida do património paleontológico português	71
Aproximação à evolução paleoambiental da jazida de mas de les clapises na formação mirambel (barremiano inferior) em Portell de Morella, Castellon, Espanha	75
Contexto geodinâmico das rochas vulcânicas da região de Viana do Alentejo	79
Aplicação do Google Earth na divulgação da Geologia da Bacia Lusitânica (Portugal)	83
A linguagem Não Formal e a utilização de uma linha de discurso narrativa – storytelling – no contexto das actividades do Centro Ciência Viva de Estremoz	87
Utilização da suscetibilidade magnética para a deteção de traçadores magnéticos em estudos de dinâmica sedimentar costeira	91
Geochemical characterization and modelling of the Luchon granite-hosted hydrothermal system	95
Estudo das características intrínsecas dos sapais na avaliação da sua resiliência à subida do nível médio do mar	99
Caracterização Granulométrica e Mineralógica da Cobertura Sedimentar da Plataforma Continental Alentejana	103
Contribuição para o estudo geoquímico dos montes submarinos Rugoso, Jo Cousin e Pico Pia (Crista Madeira-Tore)	107
Magmatismo pós-rifte na Margem Central Oeste Ibérica (Esporão da Estremadura): novas evidências obtidas a partir de dados de campo potencial	111
Comunicações em Poster Poster Communications	115
Distribuição das Terras Raras (REE) em águas superficiais associadas ao Plutonito do Caramulo	116
Novos dados elementares e isotópicos (Sr-Nd) para metassedimentos do Complexo Xisto Grauváquico do setor oeste da Zona Centro Ibérica	120
Avaliação do potencial do biochar e composto para a revegetação da escombreira da mina de Escádia Grande com <i>Hirschfeldia incana</i>	124
Mineração e produção antiga de estanho no noroeste da Península Ibérica: dados preliminares do sítio de As Muradellas (Baltar, Espanha)	128

A Geoética no Ensino Superior: propostas de recursos educativos	132
Do ensino não-formal à ciência cidadã: um projeto de investigação no âmbito do ensino e da comunicação em Geociências	136
Variações de oxidação-redução nos ambientes deposicionais das unidades detríticas da Zona de Ossa Morena: implicações para a génese das mineralizações sulfuretadas?	140
Caracterização geoquímica e isotópica de amostras do bordo sudeste do Complexo Plutónico de Santa Eulália (Zona de Ossa Morena)	144
Identificação de estruturas sedimentares utilizando imagens de Tomografia Axial Computorizada em depósitos de tempestade e tsunami	148
Conjugação do registo sedimentar onshore e offshore de tsunamis no Holocénico – resultados preliminares do projecto OnOff	152
Mapa metalogénico para as mineralizações W - Sn do Norte e Centro de Portugal e de Castela e Leon, Espanha	156
Modelação conjunta de dados sísmicos e magnéticos na região do vulcão Fontanelas, Esporão da Estremadura	160

*“Em algum lugar, alguma coisa incrível
espera por ser descoberta”*

Carl Sagan

Caros Colegas,

Sejam muito bem-vindos a mais uma edição do Congresso Jovens Investigadores em Geociências (CJIG).

À semelhança de anos anteriores, a Comissão Organizadora espera que todos os participantes se sintam bem recebidos e que continuem a encontrar aqui um espaço de crescimento profissional e pessoal, um local de partilha do seu trabalho e discussão do mesmo.

Desde sempre, que o objetivo desta iniciativa é potenciar os trabalhos realizados por jovens investigadores, bem como abrir espaço para todo o processo de participação num congresso.

Deixamos uma palavra de agradecimento a todos os envolvidos na realização desta nova edição, às entidades que nos apoiam desde a 1ª edição, assim como, às entidades que se têm associado a este projeto ao longo destas 9 edições. Também queremos agradecer a todos os colegas que tornam possível a realização deste Congresso. Muitas destas “caras” estão nos bastidores a organizar a “casa” e, só as vemos de vez em quando... A todas eles, o nosso Muito Obrigado.

Por fim, aos oradores convidados e comissão científica que aceitaram este desafio e, como não podia deixar de ser, aos participantes que embarcam nesta aventura connosco, tornando possível organizar a 9ª Edição do Congresso Jovens Investigadores em Geociências.

A todos um Muito Obrigado!

A Comissão organizadora

**PROGRAMA
PROGRAM**

	Sábado	Domingo		
	23 Novembro	24 Novembro		
08:30	Entrega da Documentação			
09:00				
09:30	Sessão de abertura			
09:45	Alexandre Lima (FCUP/ICT) <i>O Lítio e a sua prospeção com origem em pegmatitos</i>	Adriana Batista	António Ribeiro (FCUL/IDL) <i>20 Anos de tectónica de placas amolecidas e um teste nos Açores</i>	Rui Dias
10:00				
10:15				
10:30				
10:45				
10:45	O_01 António Oliveira	O_15 Pedro Cachapuz O_16 Emanuel Gandaio		
11:00	Pausa para Café			
11:15	Pausa para Café			
11:30	O_02 Luís Lima	Sessão de Posters P_07 P_08 P_09 P_10 P_11 P_12	Adriana Batista	
11:45	O_03 Marta Soares			
12:00	O_04 Joana Fernandes			
12:15	O_05 Lourenço Crispim			
12:30	O_06 Fábio Marques			
12:45	PAUSA PARA ALMOÇO			
13:00				
13:15				
13:30				
13:45				
14:00	Sessão de Posters	Maria Teresa Albuquerque (IPCB/ICT) <i>Simulação da qualidade de águas superficiais – um estudo de caso transfronteiriço</i>	Mário Silva	
14:15	P_01 P_02 P_03 P_04 P_05 P_06			
14:30	O_07 Diogo Barros			
14:45	O_08 Daniela Rato			
15:00	O_09 Marília Zimmermann			
15:15	O_10 João Madrinha			
15:30	O_11 Luís Fernandes	O_20 Miguel Inácio		
15:45	Pausa para Café		O_21 Ângela Pacheco	
16:00	Pausa para Café		O_22 Ana Rita Rosa	
16:15	O_12 Filipa Ferreira	Pausa para Café		
16:30	O_13 Gonçalo Silvério	José Valenzuela-Ríos (UV) <i>Hacia un Planeta sostenible, el papel de la juventud geológica y el apoyo del Programa Internacional de Ciencias Geológicas UNESCO-IUGS</i>	Rui Dias	
16:45	O_14 Óscar Marí			
17:00	Pedro Mocho (FCUL/IDL) <i>Late Jurassic sauropods from the Lusitanian Basin: a valuable paleontological heritage</i>	Sessão de Encerramento		
17:15				
17:30				
17:45				
18:00				
18:15				
18:30				
18:45				
19:00				
19:30	Jantar do Congresso			

PROGRAMA COMUNICAÇÕES ORAIS

ID	Título da comunicação	Apresentado por
O_01	The Lamas de Olo microgranite and lamprophyre veins: Petrography and Anisotropy of Magnetic Susceptibility	António Oliveira
O_02	Mineralizações de W e Sn, os principais tipos de controlo no NW Peninsular	Luís Lima
O_03	Estudo Gravimétrico em Contexto Granítico no Concelho de Amares	Marta Soares
O_04	Biotite porphyroblast microstructures in the Almendra (Vila Nova de Foz Côa) region	Joana Fernandes
O_05	Petrologia dos encaves da erupção vulcânica de Bakrite (Marrocos): contributo para o conhecimento da estrutura da crosta e do manto no Médio Atlas	Lourenço Crispim
O_06	Interpretação dos dados Gravimétricos para a região mineira de Neves-Corvo (Faixa Piritosa Ibérica)	Fábio Marques
O_07	Cyclicity in an overall regressive trend – an integrated approach to a Late Jurassic shallow marine succession North of São Martinho do Porto (Lusitanian Basin)	Diogo Barros
O_08	Resultados preliminares de uma experiência com traçador fluorescente (praia da Costinha - Aveiro, Portugal)	Daniela Rato
O_09	Indications and limitations of gama-ray spectrometry of Late Jurassic mixed facies, north of São Martinho do Porto (Lusitanian Basin)	Marília Zimmermann
O_10	Estudo de paleocorrentes nos Complexos Toca da Moura e Cabrela (Zona de Ossa-Morena): implicações na morfologia da bacia de sedimentação mississípica	João Madrinha
O_11	Biostratigrafia, paleoecologia e paleobiogeografia de palinóforos do Cenomaniano médio da Nazaré (Portugal)	Luís Fernandes
O_12	Balanídeos do Pliocénico de Vale de Freixo (Pombal, Portugal): dados preliminares	Filipa Ferreira
O_13	Âmbar: a jóia esquecida do património paleontológico português	Gonçalo Silvério
O_14	APROXIMAÇÃO À EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DA JAZIDA DE MAS DE LES CLAPISES NA FORMAÇÃO MIRAMBEL (BARREMIANO INFERIOR) EM PORTELL DE MORELLA, CASTELLON, ESPANHA	Óscar Marí
O_15	Contexto geodinâmico das rochas vulcânicas da região de Viana do Alentejo	Pedro Cachapuz
O_16	Aplicação do Google Earth na divulgação da Geologia da Bacia Lusitânica (Portugal)	Emanuel Gandaio
O_17	A linguagem Não Formal e a utilização de uma linha de discurso narrativa – storytelling – no contexto das actividades do Centro Ciência Viva de Estremoz	André Paiva
O_18	Utilização da suscetibilidade magnética para a deteção de traçadores magnéticos em estudos de dinâmica sedimentar costeira	Ana Filipa Fernandes
O_19	Geochemical characterization and modelling of the Luchon granite-hosted hydrothermal system	Jon Jiménez
O_20	Estudo das características intrínsecas dos sapais na avaliação da sua resiliência à subida do nível médio do mar	Miguel Inácio
O_21	Caracterização Granulométrica e Mineralógica da Cobertura Sedimentar da Plataforma Continental Alentejana	Ângela Pacheco Mariana Luís

O_22	Contribuição para o estudo geoquímico dos montes submarinos Rugoso, Jo Cousin e Pico Pia (Crista Madeira-Tore)	Ana Rita Rosa
O_23	Magmatismo pós-rifte na Margem Central Oeste Ibérica (Esporão da Estremadura): novas evidências obtidas a partir de dados de campo potencial	Cláudia Escada

PROGRAMA DE COMUNICAÇÕES EM POSTERS

ID	Título da comunicação	Apresentado por
P_01	Distribuição das Terras Raras (REE) em águas superficiais associadas ao Plutonito do Caramulo	Letícia Ferreira
P_02	Novos dados elementares e isotópicos (Sr-Nd) para metassedimentos do Complexo Xisto Grauváquico do setor oeste da Zona Centro Ibérica	Luís Portela
P_03	Avaliação do potencial do biochar e composto para a revegetação da escombreira da mina de Escádia Grande com <i>Hirschfeldia incana</i>	Margarida Barbosa
P_04	Mineração e produção antiga de estanho no noroeste da Península Ibérica: dados preliminares do sítio de As Muradellas (Baltar, Espanha)	Filipa Dias
P_05	A Geoética no Ensino Superior: propostas de recursos educativos	Alexandra Cardoso
P_06	Do ensino não-formal à ciência cidadã: um projeto de investigação no âmbito do ensino e da comunicação em Geociências	Tiago Ribeiro
P_07	Variações de oxidação-redução nos ambientes deposicionais das unidades detríticas da Zona de Ossa Morena: implicações para a génese das mineralizações sulfuretadas?	José Roseiro
P_08	Caracterização geoquímica e isotópica de amostras do bordo sudeste do Complexo Plutónico de Santa Eulália (Zona de Ossa Morena)	Ofélia Silva
P_09	Identificação de estruturas sedimentares utilizando imagens de Tomografia Axial Computorizada em depósitos de tempestade e tsunami	Ricardo Santos
P_10	Conjugação do registo sedimentar onshore e offshore de tsunamis no Holocénico – resultados preliminares do projecto OnOff	Silas Cunha
P_11	Mapa metalogénico para as mineralizações W - Sn do Norte e Centro de Portugal e de Castela e Leon, Espanha	Alexandra Mota
P_12	Modelação conjunta de dados sísmicos e magnéticos na região do vulcão Fontanelas, Esporão da Estremadura	Paloma Simões

ORADORES CONVIDADOS INVITED SPEAKERS

O Lítio e a sua prospeção com origem em pegmatitos

Lithium exploration on pegmatites

A. Lima^{1*}

¹ Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geociências e Ordenamento do Território.

Instituto de Ciências da Terra (ICT, Polo Porto). Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007 PORTO, PORTUGAL

* allima@fc.up.pt

Resumo: O subsolo português apresenta um grande potencial de mineração para metais estratégicos, como substância principal dos depósitos (Li, W, Sb) ou como subprodutos dos metais básicos (In, Se, Ge). Para desenvolver esse potencial, a prospeção mineira deve ser apoiada em novas tecnologias, em métodos de pesquisa inovadores e numa gestão responsável dos impactos ambientais e sociais caso se chegue à fase de exploração. A utilização de técnicas de deteção remota, geofísicas, geoquímicas e SIG irá permitir melhorar o conhecimento das áreas a prospectar e depois explorar. O lítio (Li) é um metal estratégico para o século XXI, principalmente devido à sua aplicação nas Tecnologias de Baixo Carbono. Portugal tem um importante potencial de minerais Li dentro da UE, mas a sua aplicação na atualidade é apenas para as indústrias da cerâmica e vidreira. São apresentadas nesta conferência o estado da arte na prospeção de Li dando exemplos de Portugal.

Palavras-chave: Prospeção, Lítio, Pegmatito, Espodumena

Abstract: Portuguese subsoil presents a great mining potential for strategic metals, which are either the main substance of deposits (Li, W, Sb) or by-products of base metals (In, Se, Ge). In order to develop this potential, mineral exploration must be supported by new technologies, improved exploitation methods and a sound and responsible management of environmental and societal impacts. The adaptation of remote sensing, geophysical, geochemical, and GIS techniques will improve the knowledge before selecting areas of mining. Lithium (Li) is a strategic metal for the XXI century, mainly through its application in the Low Carbon Technologies, becoming one of the most searched high-tech metals around the world. Portugal has an important potential of Li minerals inside the EU, but its application now is only for the ceramic and glass industries. In this conference are presented the state of the art on Li exploration using cases of Portugal.

Key-words: Exploration, Lithium, Pegmatite, Spodumene

INTRODUÇÃO

Atualmente em Portugal já existem explorações de pegmatitos com lítio para a Indústria Cerâmica e Vidreira, em filões onde minerais de lítio como a montebrasite, lepidolite, espodumena e a petalite são dominantes. A montebrasite/amblygonite são fosfatos de lítio, que para além deste metal poderão ter como subproduto interessante, pois poderá ser fonte de fósforo, para os fertilizantes, de que a Europa é fortemente deficitária e claramente dependente do exterior. A lepidolite/zinwaldite são micas de Li, que por muitas vezes terem uma cor rosa/violácea característica em Portugal, podem ser separadas por separadores ópticos, que nem sequer recorrem ao uso de produtos químicos para a sua separação.

A petalite é um feldspatoide de Li, de que Portugal é muito rico, e que tem felizmente contribuído para que as indústrias cerâmicas e vidreiras de Portugal, que têm tanta importância para o País, possam resistir ao preço da energia, que é muito mais caro que os seus países vizinhos. Efetivamente é graças ao facto da presença de petalite em pegmatitos darem um bom teor em Li e baixo teor em Ferro, que as pastas cerâmicas e vidreiras podem ser produzidas com mais baixo ponto de fusão, levando a uma elevada poupança de energia, tornando as nossas empresas competitivas.

Contudo, conforme descrito em Lima et al (2011), a utilização das reservas certas de teor superior a 1% de Li₂O nos filões ricos em espodumena na região do Barroso, deveriam ser já encaradas como sendo de minérios de lítio convertível em carbonato ou hidróxido de lítio. A espodumena é uma piroxena de Li, que neste momento sustenta cerca de metade do mercado mundial de produção de carbonato e hidróxido de Li (Fonte: Roskill 2018). A razão da sua forte utilização é da tecnologia da sua conversão nestes 2 produtos essenciais para a construção de baterias de Li ser já conhecida há décadas pela indústria, conferindo-lhe uma fiabilidade difícil de igualar com outros minérios.

Apesar de haver já reservas significativas dentro das concessões mineiras já atribuídas, com campanhas de sondagens extensas já a decorrer, é necessário realizar trabalhos de prospecção em áreas de todas as regiões conhecidas com potencial no Norte e Centro de Portugal.

CONCLUSÃO

De facto, na actualidade do mercado Mundial, apesar das principais fontes de Lítio serem salmouras litiníferas, a espodumena é um minério de Lítio nomeadamente na China, Austrália e Brasil e voltará a ser muito proximamente nos EUA, Canadá e Rússia. Na Europa está prevista entrar proximamente em laboração na Finlândia a primeira mina de Lítio para a obtenção de compostos para baterias a partir da espodumena. Refira-se que os teores de Lítio e as reservas são equivalentes às já identificadas em Portugal na região do Barroso-Alvão, pelo que no nosso país se deve também estudar e fomentar a utilização das suas melhores reservas na obtenção deste componente para as baterias, quer de carros eléctricos, quer de armazenamento de energia.

Esta Indústria Mineira para além de ser praticamente não poluente quando comparada com a antiga Indústria Mineira do passado em Portugal, terá a característica de ser limitada no espaço físico e temporal e sendo associada a uma Indústria transformadora do Lítio, poderá até ser considerada como uma das soluções para ajudar a diminuir o despovoamento e o

empobrecimento económico do interior de Portugal Assim a prospeção geológica que possa aumentar as reservas seja autorizada.

Bibliografia

- LIMA, A., VIEIRA R., MARTINS, T. & NORONHA, F. (2011) As Fontes de Lítio em Portugal. Revista Portugal Mineral. Edição Especial Indústria Extractiva. Nº 3. p. 60-63.

Late Jurassic sauropods from the Lusitanian Basin: a valuable paleontological heritage

P. Mocho^{1,2,3*}, R. Royo-Torres⁴, F. Escaso^{2,3}, E. Malafaia^{1,2,3}, A. Pérez-García^{2,3}, F. Ortega^{2,3}

¹ Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, edifício C6, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal.

² Grupo de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, UNED, c/ Senda del Rey, 9, 28040 Madrid, Spain

³ Laboratório de Paleontologia e Paleoecologia, Sociedade de História Natural, Polígono Industrial do Alto do Ameal, Pav.H02 e H06, 2565-641, Torres Vedras, Portugal

⁴ Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis/Museo Aragonés de Paleontología, Av. Sagunto s/n. E-44002 Teruel, Spain

* pdmocho@fc.ul.pt

The Upper Jurassic sedimentary rocks of the Lusitanian Basin (Portugal) are known to have yielded abundant fossil of vertebrates, in particular turtles, crocodyliforms and dinosaurs (e.g., Sauvage, 1897-98; Lapparent & Zbyszewski, 1957; Dantas, 1990; Antunes & Mateus, 2003; Ortega et al., 2009, 2013). The sauropod fossil record is particularly rich in this basin, and several historical references deal with this clade (e.g., Sauvage, 1897-98; Lapparent and Zbyszewski, 1957). The Late Jurassic sauropods of Portugal and Spain have been focus of several recent studies centered on the review and description of known and unpublished specimens, including many new occurrences found in the Torres Vedras, Lourinhã, Peniche, Caldas da Rainha and Pombal areas (e.g. Mannion et al., 2012, 2013; Mateus et al., 2014; Mocho et al., 2014, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d, 2019).

The sauropod fauna of Portugal during the Late Jurassic includes the turiasaur *Zby atlanticus* Mateus et al., 2014 (Praia da Amoreira-Porto Novo Formation, upper Kimmeridgian–basal Tithonian); the diplodocine *Dinheirosaurus lourinhanensis* Bonaparte & Mateus, 1999 (Praia da Amoreira-Porto Novo Formation, upper Kimmeridgian–basal Tithonian); the camarasaurid *Lourinhasaurus alenquerensis* (Lapparent and Zbyszewski, 1957) (Sobral Formation, upper Kimmeridgian–lower Tithonian); the brachiosaurid *Lusotitan atalaiensis* (Lapparent and Zbyszewski, 1957) (Sobral Formation, upper Kimmeridgian–lower Tithonian); and the somphospondylan recently published *Oceanotitan dantasi* Mocho, Royo-Torres & Ortega, 2019 (Praia da Amoreira-Porto Novo Formation, upper Kimmeridgian–lowermost Tithonian). Tschopp et al. (2015) included *Dinheirosaurus* within the genus *Supersaurus* from the Morrison Formation and proposed a new combination, *Supersaurus lourinhanensis*.

An extensive dataset of morphological characters is being applied and it is improving the phylogenetic positions and testing the validity of the Portuguese sauropod taxa. The present analysis suggest: (1) *Zby atlanticus* needs a new diagnosis and is a member of Turiasauria closely related with *Turiasaurus*; (2) two diplodocines are identified - a possible member of the genus *Diplodocus* found in Praia de Valmitão; and *Dinheirosaurus lourinhanensis*, with an

uncertain position within Diplodocinae but exhibiting an exclusive set of characters combination not shared by *Supersaurus*; (2) *Lourinhasaurus* is a member of Camarasauridae sharing several features with *Camarasaurus* (future analyses might include *Lourinhasaurus alenquerensis* within *Camarasaurus* genus); (5) *Lusotitan* is recovered as a member of Brachiosauridae and (5) *Oceanotitan dantasi* might represent a more derived titanosauriform than Brachiosauridae, and the oldest occurrence of Somphospodyli in the fossil record. The present analysis supports a closer relationship between Portuguese and North-American sauropods than with Gondwanan forms. This can be explained by a more recent common evolutionary history with the North American territory. The Iberian sauropod fauna also seems to present a wide niche partition for sauropods that might explain the presence of a high taxonomic diversity in this territory, especially for Macronaria clade.

Several new sauropod specimens are still under study. Part of these specimens are housed in the Museu da Lourinhã (ML) and Sociedade de História Natural (SHN) and they still need to be prepared, catalogued, and studied (see Mateus, 2005; Mocho et al. 2017c). New relevant specimens have also recently been discovered and collected by the Museu Nacional de História Natural e da Ciência, SHN and ML. Herein, we report some of the most important sauropod finds, including informative partial skeletons, such as the specimens from Praia Vermelha (SHN (JJS) 179, Peniche), Porto das Barcas (ML 351, Lourinhã; see Antunes and Mateus, 2003; Mateus, 2005), Porto Novo (SHN 002, Torres Vedras), Praia da Corva (SHN 530, Torres Vedras), Santa Rita (SHN 534, Torres Vedras), Praia Azul (SHN 533, Torres Vedras), Cambelas (SHN 529, Torres Vedras), and Junqueira (Pombal). The systematic study of all these finds will significantly improve our knowledge of Portuguese Late Jurassic sauropod fauna. The study of other, so far unpublished, specimens will also be informative, such as those including axial and appendicular elements, in particular the basal macronarians recovered in Casal da Costa (SHN 531, Torres Vedras) and Valmitão (SHN 181, Lourinhã) and the diplodocids from Valmitão (SHN (JJS) 177, related to Diplodocinae), and Cambelas (SHN (JJS) 178, Torres Vedras). These specimens will allow a better understanding of the palaeobiodiversity of Diplodocinae and Camarasauridae in the Upper Jurassic record of the Lusitanian Basin.

The sauropod fossil record from the Upper Jurassic of the Lusitanian Basin comprises an important part of the enormous paleontological heritage present in this Mesozoic basin. The study of this material is being source of an important and recent scientific activity mainly focused on the reconstruction of the evolutionary history and paleobiogeography of the Late Jurassic fauna in the North Atlantic realm. Fortunately, this portrait have been also the base of several projects of scientific dissemination, especially centered in West Region of Portugal (Região Oeste). The municipality of Lourinhã and Torres Vedras are examples in the use of the

paleontological heritage as a socio-economical resource, including for example, several museological projects (museum and exhibitions) and a recreation area; and promoting dinosaurs as a distinctive label. These Late Jurassic fauna of the West Region of Portugal have been strategic for the proposal of new UNESCO Geopark - Geoparque Oeste.

This work was funded by 'Fundação para a Ciência e Tecnologia' (Portugal) under grant SFRH/BD/68450/2010 Ph.D. scholarship (P.M.) and one CEEC Individual contract (CEECIND/00726/2017) (P.M.)

Bibliografia

- ANTUNES, M.T. & MATEUS, O. (2003) – Dinosaurs of Portugal. *Palevol*, 2: 77-95.
- BONAPARTE, J.F., & MATEUS, O. (1999) – A new diplodocid, *Dinheirosaurus lourinhanensis* gen et sp. nov., from the Late Jurassic beds of Portugal. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 5: 13-29.
- DANTAS, P. (1990) – Dinossáurios de Portugal. *Gaia*, 2: 17-26.
- LAPPARENT, A.F. & ZBYSZEWSKI, G. (1957) – Les dinosauriens du Portugal. *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, 2: 1-63.
- MANNION, P., 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 titanosauriformes. *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. (2005) – Dinossauros do Jurássico Superior de Portugal, com destaque para os saurísquios. Unpublished PhD Thesis. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- 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., MALAFAIA, E., ESCASO, F., & ORTEGA F. (2016a) – Systematic review of Late Jurassic sauropods from the Museu Geológico collections (Lisboa, Portugal). *Journal of Iberian Geology*, 42: 227-250.
- MOCHO, P., ROYO-TORRES, R., MALAFAIA, E., ESCASO, F., SILVA, B., & ORTEGA, F. (2016b) - Turiasauria-like teeth from the Upper Jurassic of the Lusitanian Basin, Portugal. *Historical Biology: An International Journal of Paleobiology*, 28:861-880.
- MOCHO, P., ROYO-TORRES, R., MALAFAIA, E., ESCASO, F., NARVÁEZ, I., & ORTEGA, F. (2017a) – New data on Late Jurassic sauropods of central and northern sectors of the Bombarral Sub-basin (Lusitanian Basin, Portugal). *Historical Biology: An International Journal of Paleobiology*, 29: 151-169.
- MOCHO, P., ROYO-TORRES, R., & ORTEGA, F. (2017b) - New data of the Portuguese brachiosaurid *Lusotitan atalaiensis* (Sobral Formation, Upper Jurassic). *Historical Biology: An International Journal of Paleobiology*, 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. (2017c) – Upper Jurassic sauropod record in the Lusitanian Basin (Portugal): Geographical and lithostratigraphical distribution. *Palaeontologia Electronica*, 20.2.27A: 1-50.
- MOCHO, P., ROYO-TORRES, R., MALAFAIA, E., ESCASO, F., & ORTEGA, F. (2017d) – Sauropod tooth morphotypes from the Upper Jurassic of the Lusitanian Basin (Portugal). *Papers in Palaeontology*, 3: 259-295.

- ORTEGA, F., ESCASO, F., MALAFAIA, E., MOCHO, P., & PÉREZ-GARCÍA, A. (2013) – Paleobiogeografia dos répteis peri-Atlânticos do Jurássico Superior português: resposta a padrões de vicariância ou dispersão, p. 17-20. In MOREIRA, N., PEREIRA, I., COUTO, F., & SILVA, H. (eds.), Livro de Actas III Congresso Jovens Investigadores em Geociências LEG 2013 & 6th Meeting of Post-Graduation in Physics and Earth Sciences of University of Évora. Universidade de Évora, Évora.
- ORTEGA, F., MALAFAIA, E., ESCASO, F., PÉREZ-GARCÍA, A., & DANTAS, P. (2009) - Faunas de répteis do Jurássico superior de Portugal. *Paleolusitana*, 1:43-56.
- SAUVAGE, H.E. (1897-98) – Vértébrés fossiles du Portugal. Contribution à l'étude des poissons et des reptiles du Jurassique et du Crétacé. *Mémoires de la Direction des Travaux Géologiques du Portugal*.
- TSCHOPP, E., MATEUS, O., & BENSON, R. (2015) – A specimen-level phylogenetic analysis and taxonomic revision of Diplodocidae (Dinosauria, Sauropoda). *PeerJ*, 3:e857.

20 Anos de tectónica de placas amolecidas e um teste nos Açores

António Ribeiro¹

¹IDL, DepGeol FCUL

O modelo da TECTÓNICA DE PLACAS AMOLECIDAS ("soft plate tectonics" - SPT) considera que litosfera oceânica é afectada por deformação intraplaca devido a um mecanismo de enfraquecimento: a instabilidade termodinâmica causada pelo metamorfismo hidrotermal dos fundos oceânicos. O postulado da rigidez das placas no modelo padrão tectónica de placas é substituído pela coerência e coaxialidade das placas expressa por uma lei sinusoidal da velocidade angular das placas que obedece ao Teorema de Rotação de Euler. Num modelo de projecção ortográfica esta lei resulta da quebra da velocidade axisimétrica ou do deslocamento diferencial através da geometria. Uma formulação analítica equivalente é obtida através de harmónicas esféricas (Ribeiro et al., 2005). A taxa de deformação inferida aumenta com a idade devido à retroacção positiva em relação aos mecanismos de enfraquecimento. Este modelo foi proposto desde 1987 e formalizado num livro (Ribeiro & Mateus, 2002). Recentemente foi proposto um modelo alternativo: o modelo das placas em contracção ("shrinking plates" Kumar e Gordon, 2009; Kreemer e Gordon, 2014). O seu rational consiste na condição necessária no arrefecimento da litosfera oceânica no regime de um campo de tensão triaxial da dinâmica de placas em que estas sofrem contracção horizontal além de fendilhamento ("cracking") paralelo ao vector de movimento da placa; este modelo conduz a uma taxa de deformação ("strain rate") que diminui com a idade porque a placa oceânica arrefece mais rapidamente junto à crista média oceânica. Este modelo é testado por desvios no vector de fecho da velocidade de placas num sistema cinemático de três placas.

Testes geodéticos futuros permitirão escolher entre os modelos de placas soft e o shrinking em termos de deformação incremental intraplacas. A deformação finita pode ser modelada no exemplo da junção tripla dos Açores em que um rifte ultralento corta através litosfera oceânica previamente acrecionada e de idade variável nas placas Eurásia e Nubia; a curvatura desta estrutura favorece o modelo de strain rate "shrinking plates" crescente compatível com o modelo SPT.

Agradecimentos

O autor agradece discussões com os colegas António Mateus, Luís Matias, Filipe Rosas e João Duarte e Rui Dias.

Referências

- Kreemer, C. & Gordon, R. (2014). Pacific plate deformation from horizontal thermal contraction. *Geology*, 42(10), 847-850.
- Kumar, R. & Gordon, R. (2009). Horizontal thermal contraction of oceanic lithosphere: The ultimate limit to the rigid plate approximation. *Journ. Geophys. Res.*, 114(B01), 1-8.
- Ribeiro, R. & Mateus, A. (2002). *Soft Plate and Impact Tectonics*. Springer, 324 p.
- Ribeiro, A., Matias, L. & Taborda, R. (2005). *Theory of tectonics in the sphere*. arxiv.org/abs/physics/0501126.

Simulação da qualidade de águas superficiais – um estudo de caso transfronteiriço

Surface water quality simulation - a transboundary watershed case study

Albuquerque MTD^{1,2*}, Antunes IMHR³, Oliveira SF¹

¹ Instituto Politécnico de Castelo Branco / CERNAS | QRural, Castelo Branco, Portugal

² ICT / Universidade de Évora, Évora, Portugal

³ ICT / Universidade do Minho, Campus de Gualtar, Braga, Portugal

* teresal@ipcb.pt

Resumo: O principal objetivo deste trabalho centra-se na avaliação da qualidade da água superficial no rio Águeda (bacia transfronteiriça entre Portugal e Espanha) e da sua capacidade de autodepuração considerando diferentes cenários hidrológicos. Analisaram-se: Carência Bioquímica do Oxigénio (CBO₅), Oxigénio dissolvido (DO), Resíduo Seco, P_{total}, N_{total}, pH, Temperatura e Parâmetros Microbiológicos, em 36 amostras de água superficial.

O software Qual2Kw foi usado para simular a qualidade da água e, subsequentemente, discutida a capacidade de autodepuração do rio, em cada cenário. A calibração dos modelos obtidos mostrou encontrar-se num intervalo de confiança de 95%, para os parâmetros analisados. Foram construídos dois cenários de previsão. O primeiro, com o objetivo de avaliar a influência de descargas tóxicas contaminadas e o segundo, com o objetivo de avaliar a influência de caudais mínimos em anos extremamente secos. A capacidade de autodepuração revelou-se menor em situações de caudais muito baixos.

Palavras-chave: Bacia do rio Águeda, Portugal-Espanha, Qual2Kw, autodepuração

Abstract:

The primary aim of this study is to evaluate the quality of surface water in the Águeda river (transboundary watershed between Portugal and Spain) and its self-depuration capacity, considering different hydrological scenarios. Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), Dissolved Oxygen (DO), Dry Residue, P_{total}, N_{total}, pH, Temperature and Microbiological Parameters were analyzed in 36 surface water samples.

Qual2Kw software was used to simulate water quality and subsequently discuss the river's self-depuration ability, for each scenario. The calibration of the obtained models was found to be within a 95% confidence interval for the analyzed parameters. Two forecast scenarios were constructed. The first, to evaluate the influence of contaminated topical discharges and the second, to evaluate the influence of minimum flow in extremely dry years. Self-depuration capacity was lower for the very low flow situations.

Keywords: Águeda watershed, Portugal-Spain, Qual2Kw, self-depuration

INTRODUÇÃO

A qualidade da água é regulada por um conjunto complexo de atividades antropogénicas e processos naturais, que podem ser influenciados por atividades de superfície (e.g. Pratt e Chang, 2012; Ai et al., 2015). As características das bacias hidrográficas são fatores

determinantes para a qualidade da água, nomeadamente as suas características morfológicas (Johnson et al., 1997).

As variações sazonais de precipitação e de escoamento superficial têm um forte efeito sobre as taxas de fluxo e, portanto, sobre a concentração de contaminantes nas águas superficiais (Lecomte et al., 2009; Sullivan et al., 2010; Zhou et al., 2012; Antunes et al., 2016, Vega et al., 1998).

A capacidade de prever o transporte de contaminantes em canais abertos é um tópico importante em muitos projetos ambientais (Abderrezzak et al., 2015). Os modelos de qualidade da água são ferramentas úteis para a previsão do comportamento de plumas contaminantes e impactes na qualidade da água. Os cenários simulados são especialmente úteis para a construção de diferentes planos de resposta, visando ações rápidas e apropriadas se um evento contaminante ocorrer (e.g., Henderson-Sellers, 1991; DiGiano e Grayman, 2014). Este estudo de caso pretende fornecer uma ferramenta para o desenvolvimento de ações de resposta apropriadas a emergências e remediação, numa bacia hidrográfica transfronteiriça (Portugal e Espanha). Os principais objetivos são: (1) caracterizar a capacidade de autodepuração espacial do rio Águeda; (2) simular dois cenários de qualidade diferentes, nomeadamente, sob a influência de uma descarga acidental contaminada e, um segundo cenário em condições de caudal mínimo (ano hidrológico extremamente seco).

A bacia hidrográfica transfronteiriça do rio Águeda está localizada no centro-oeste da Península Ibérica, estendida entre Portugal e Espanha, incluindo as províncias Espanholas de Salamanca e Cáceres (2290 km²) e o município Português da Guarda (310 km²), com uma área total de 2600 km² (Fig. 1). A agricultura é a atividade dominante (Albuquerque et al., 2013).



Fig. 1. Localização geográfica da bacia do rio Águeda (publicado em

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.06.021>)

Os recursos minerais ocorrem distribuídos por toda a bacia hidrográfica e desempenham um papel crucial na contaminação ambiental. As principais mineralizações são de sulfuretos e minerais de urânio associados a intrusões graníticas e a material sedimentar detrítico ferruginoso (Sánchez-González et al., 2013). As atividades mineiras constituíram uma das principais atividades humanas na área da bacia hidrográfica do rio Águeda.

DESENVOLVIMENTO

Ao longo da bacia hidrográfica transfronteiriça do rio Águeda, foram recolhidas trinta e seis amostras de águas superficiais (Fig. 2). Para cada amostra de água superficial foram medidas *in situ* as seguintes variáveis, usando um medidor portátil multiparamétrico: Temperatura, pH, Oxigénio dissolvido (OD), Condutividade elétrica (CE), Potencial de oxidação-redução (Eh) e Sólidos Totais dissolvidos (STD). Cloretos, Nitritos, Nitratos, Fosfatos inorgânicos, Sulfatos, Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO₅), Carência Química de Oxigénio (CQO) e oligoelementos, foram analisados por cromatografia iónica, no Instituto de Recursos Naturais e Agro-biologia (IRNASA, Salamanca) Espanha). Os valores de CBO₅, OD e parâmetros microbiológicos foram usados como indicadores para a presença de matéria orgânica e, desta forma, para a avaliação da qualidade da água ao longo do rio Águeda.

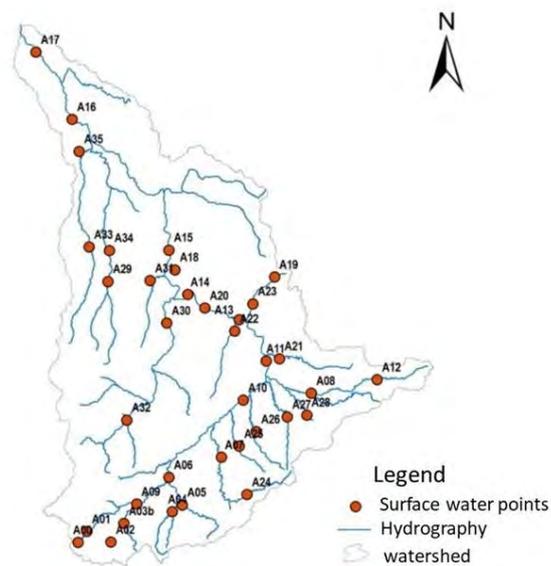


Fig. 2. Localização dos pontos de controle (publicado em

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.06.021>)

Os mecanismos de autodepuração são processos naturais de recuperação da qualidade da água superficial (Von Sperling, 1995; Sharma e Kansal, 2013). Estes mecanismos envolvem

processos físicos (diluição e sedimentação), químicos (oxidação) e biológicos (decomposição da matéria orgânica). Compostos orgânicos e inorgânicos persistentes, como metais, não podem ser destruídos por mecanismos de autodepuração. A capacidade de autodepuração varia de acordo com as características do corpo d'água, quantidade de descargas tóxicas e/ou difusas e do tipo de contaminante (Oliveira, 2014).

Os modelos de previsão para caracterização da dispersão de contaminantes ao longo de um rio são cruciais na avaliação espaço-temporal da qualidade da água. O QUAL2kw permite simular vários parâmetros (Pelletier et al 2006). O método começa com a segmentação do rio em secções com características morfológicas semelhantes (e.g. declive, largura do fundo, rugosidade do canal). Todos os tributários são representados como entradas tóxicas (Fig. 3). O rio Águeda foi modelado ao longo de todo o seu percurso (cerca de 140 km), da nascente à foz, e considerando 55 trechos com um valor constante de 2,5 km (Fig. 3).

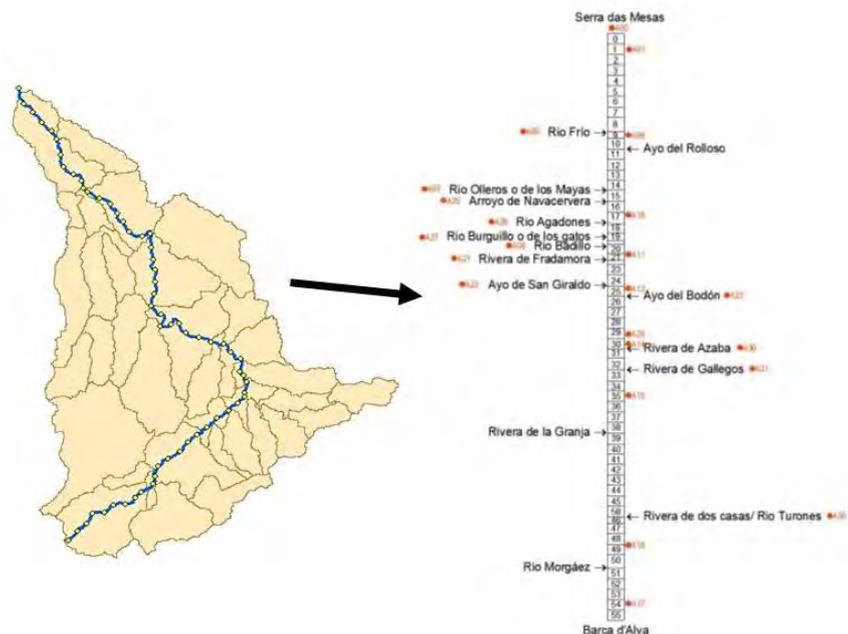


Fig. 3. Segmentação do rio Águeda e localização dos pontos de controle amostragem (publicado em

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.06.021>)

A calibração mostrou-se adequada para todos os parâmetros analisados, apresentando alguma variabilidade nas amostras, A13, A15 e A20, devido à presença de valores anómalos severos (Fig. 4).

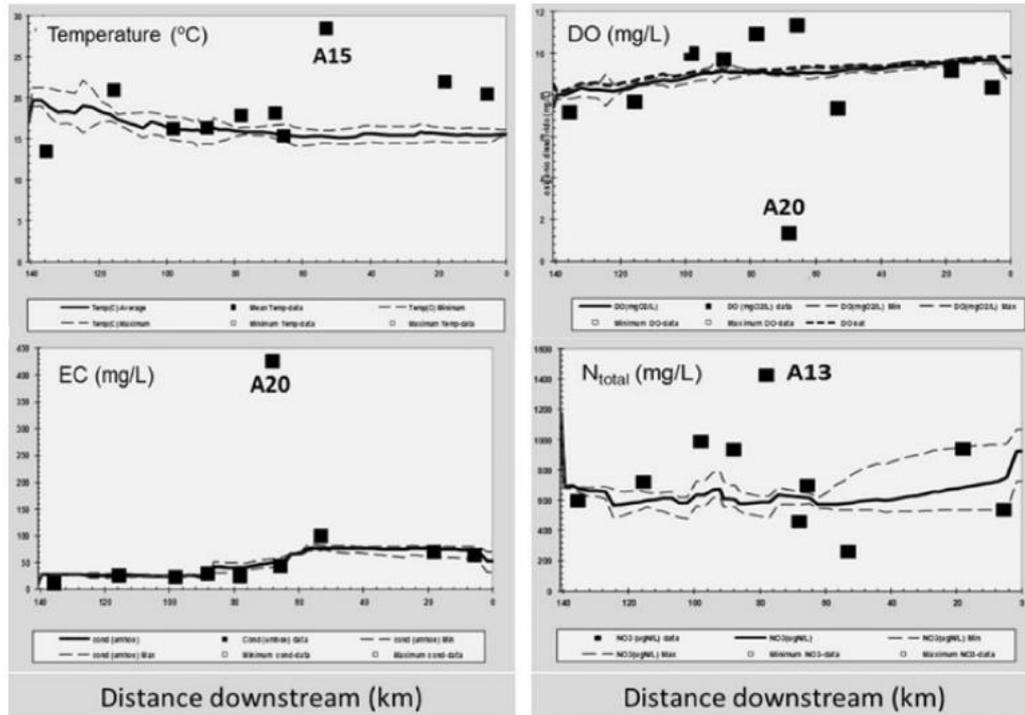


Fig. 4. Calibração dos modelos ajustados (publicado em

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.06.021>)

CONCLUSÃO

A qualidade da água na bacia hidrográfica transfronteiriça do rio Águeda foi avaliada usando um algoritmo genético para calibração, o Qual2Kw. Foram construídos dois cenários de previsão, impondo mudanças nos parâmetros de qualidade da água e na hidrologia do sistema fluvial, nomeadamente, 1. descarga tóxica contaminada e 2. Caudal mínimo, correspondente a um ano de seca extrema. Estes dois cenários, permitiram avaliar a evolução longitudinal da qualidade da água sob diferentes tipos de stress ambiental. O modelo funciona assim como uma ferramenta preditiva para o apoio ao planeamento da gestão da água, permitindo a implementação de medidas corretivas, a curto ou a longo prazo (Pelletier et al., 2006; Vieira et al., 2013).

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pelo projeto POCTEP “Caracterização ambiental e análises de riscos em áreas transfronteiriças: projeto piloto no rio Águeda”, 0410_AGUEDA_3_E. O autor reconhece o financiamento concedido pelo Instituto de Ciências da Terra (ICT), sob os contratos UID / GEO / 04683/2013 com a FCT (Fundação Portuguesa de Ciência e Tecnologia) e COMPETE POCI-01-0145-FEDER-007690.

Bibliografia

- ABDERREZZAK, K.E.K., ATA, R., ZAOU, F., 2015. One-dimensional numerical modelling of solute transport in streams: The role of longitudinal dispersion coefficient. *J. Hydrol.* 527, 978–989. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.061>.
- AI, L., SHI, Z.H., YIN, W., HUANG, X., 2015. Spatial and seasonal patterns in stream water contamination across mountainous watersheds: Linkage with landscape characteristics. *J. Hydrol.* 523, 398–408. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.082>.
- ALBUQUERQUE, M.T.D., SANZ, G., OLIVEIRA, S.F., MARTÍNEZ-ALEGRÍA, R., ANTUNES, I.M.H.R., 2013. Spatio-temporal groundwater vulnerability assessment – a coupled remote sensing and GIS approach for historical land cover reconstruction. *Wat. Res. Manag.* 27, 4509–4526. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0422-0>.
- ANTUNES, I.M.H.R., ALBUQUERQUE, M.T.D., SECO, M.F.M., 2016. Avaliação da vulnerabilidade especial na água subterrânea. Las aguas subterráneas y la planificación hidrológica. Iberian Conference, Madrid, Spain. AIH-GE, SIBN: 978-84-938046-5-7.
- DIGIANO, F., GRAYMAN, W.M., 2014. Can we better protect vulnerable water supplies? *J. Amer. Wat. Works Assoc.* 106, 28. <http://dx.doi.org/10.5942/jawwa.2014.106.0067>.
- HENDERSON-SELLERS, B., 1991. *Water Quality Modeling: Decision Support Techniques for Lakes and Reservoirs*. CRC Press.
- JOHNSON, L.B., RICHARDS, C., HOST, G., ARTHUR, J.W., 1997. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems. *Freshw. Biol.* 37, 193–208. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.d01-539.x>.
- LECOMTE, K.L., GARCÍA, M.G., FÓRMICA, S.M., DEPETRIS, P.J., 2009. Influence of geomorphological variables on mountainous stream water chemistry (Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina). *Geomorph.* 110, 195–202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.04.016>.
- PELLETIER, G.J., CHAPRA, S.C., TAO, H., 2006. QUAL2Kw – a framework for modelling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration. *Environ. Model. Softw.* 21(3), 419–425. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.07.002>.
- PRATT, B., CHANG, H., 2012. Effects of land cover, topography, and built structure on seasonal water quality at multiple spatial scales. *J. Hazar. Mat.* 209–210, 45–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.12.068>.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, S., GARCÍA-SÁNCHEZ, A., CARAVANTES, P., RODRÍGUEZ-CRUZ, M.S., SÁNCHEZ-MARTÍN, M.J., RODRÍGUEZ, I.S. R., 2013. Caracterización y análisis de impactos ambientales en la cuenca del río Águeda. In: *Cuenca del río Águeda un território para dos Países F.C. Sánchez-Bordona* (Ed), Servicio de Publicaciones. Universidad Europea Miguel de Cervantes Valladolid, Spain, pp. 35–64.
- SHARMA, D., KANSAL, A., 2013. Assessment of river quality models: a review. *Rev. Environ. Sc. Bio/Techn.* 12(3), 285–311. <http://dx.doi.org/10.1007/s11157-012-9285-8>.
- SULLIVAN, C.A., REIDY, LIERMANN, C., DAVIES, P.M., 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nat.* 467, 555–561. <http://dx.doi.org/10.1038/nature09440>.
- VEGA, M., PARDO, R., BARRADO, E., DEBAN, L., 1998. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Wat. Resear.* 32, 3381–3592.
- VIEIRA, J., FONSECA, A., VILAR, V.J., BOAVENTURA, R.A., BOTELHO, C.M., 2013. Water quality modelling of Lis River, Portugal. *Environ. Sci. Pol. Res.* 20(1), 508–524. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-012-1124-5>.
- VON SPERLING, M., 1995. *Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. ABES v. 01. Minas Gerais, Brazil.
- ZHOU, T., WU, J.G., PENG, S.L., 2012. Assessing the effects of landscape pattern on river water quality at multiple scales: a case study of the Dongjiang River watershed, China. *Ecol. Ind.* 23, 166–175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.013>.

Hacia un Planeta sostenible, el papel de la juventud geológica y el apoyo del Programa Internacional de Ciencias Geológicas UNESCO-IUGS

Towards a sustainable planet, the role of young geologists and the support of the UNESCO-IUGS International Geoscience Programme

J.I. Valenzuela-Ríos

University of València; Department of Botany and Geology, c/Dr. Moliner 50; 46100 Burjasot, Spain
jose.i.valenzuela@uv.es

Resumo: Los conocimientos geológicos son imprescindibles para el desarrollo armónico e igualitario de la sociedad. El desarrollo próspero y sostenible de nuestro planeta depende de un uso racional de los recursos naturales y una adecuada gestión de los residuos peligrosos. Los ciudadanos de la Tierra tienen el derecho a ser formados e informados en numerosos aspectos que influyen en el bienestar general y en el respeto a nuestro planeta. El desarrollo de programas internacionales comprometidos con estos valores como el Programa Internacional de Geociencias auspiciado por la UNESCO y la IUGS contribuyen a construir un mundo mejor y a desarrollar los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el 2030. La formación de la ciudadanía en aspectos geológicos es vital para hacer frente a los grandes retos que la humanidad tiene que afrontar en este siglo y nosotros tenemos la oportunidad de jugar un papel importante en el diseño de este futuro.

Palavras-chave: Geologia, Sociedad, IGCP, Desarrollo Sostenible

Abstract: Geological knowledge plays an important role in the harmonious and egalitarian development of society. Rational use of natural resources and appropriate management of dangerous waste is pivotal for a prosperous and sustainable development of our planet. Citizens have the right to be educated and informed on the different aspects affecting their well-being and the respect to the Earth. The development of international programmes committed to these values contribute to build a better World and to develop the 2030 Sustainable Development Goals. One of such programmes is the UNESCO-IUGS International Geoscience Programme. Capacity building in Geological items is critical for facing the major challenges that humankind has to handle this century and we have the opportunity to play an important role in the design of this hopeful future.

Key-words: Geology, Society, IGCP, Sustainable Development

INTRODUÇÃO

Los geólogos tenemos un gran potencial y una responsabilidad en la construcción de un mundo mejor, más sostenible, más informado en temas de gran repercusión social como por ejemplo el cambio climático, la mitigación de desastres naturales, la ubicación de infraestructuras, el tratamiento de residuos, el adecuado tratamiento de los recursos naturales,...

El conocimiento geológico es fundamental para conocer mejor los recursos disponibles en la Tierra y su gestión sostenible; además este conocimiento es esencial en muchos aspectos que afectan tanto a los seres vivos que habitan el planeta como a la industria.

La formación e información de las jóvenes generaciones y su interconexión transnacional resulta primordial en la construcción de este mundo mejor.

Esta gran responsabilidad social que los geólogos podemos desarrollar comprende varias fases, desde la etapa formativa hasta la posibilidad de influir y/o liderar decisiones políticas basadas en argumentos geocientíficos.

En esta conferencia me ocuparé de varios aspectos relacionados con la contribución de la Geología a las mejoras sociales en un contexto global y de las posibilidades que ofrecen varios programas internacionales, como por ejemplo el programa conjunto de la IUGS y UNESCO, el IGCP para desarrollar estas labores.

DESENVOLVIMENTO

Antes de abordar algunos de los aspectos mencionados arriba deberíamos intentar responder a la siguientes preguntas. ¿Por qué es importante la Geología para la Sociedad? ¿Qué aspectos pasados, presentes y futuros de la Tierra se comprende mejor desde el conocimiento geológico? Y, sobretudo ¿podemos imaginarnos el futuro de la Tierra sin ninguna aportación desde el conocimiento Geocientífico?

La primera pregunta es fácil de responder. El estudio de la Tierra, entendiendo por ello tanto la estructura actual como los procesos que han dado lugar a la misma y que se han sucedido a lo largo de los millones de años de existencia, es básico para comprender, conocer y gestionar los recursos necesarios para el desarrollo humano e industrial, como por ejemplo la energía, los minerales, el agua, los alimentos,...Además, el conocimiento geológico tiene un amplio impacto en una serie de actividades humanas cotidianas: la gestión de residuos de todo tipo, los preceptivos estudios geológicos y geotécnicos para la construcción de edificios e infraestructuras básicas (carreteras, túneles, puentes, presas), la aportación de soluciones a problemas ambientales muy variados, entre los que destacan la contaminación de suelos y acuíferos por el uso industrial, agrícola y ganadero. Asimismo, la comprensión que tenemos los geólogos acerca de los desastres naturales, los riesgos geológicos y como podemos actuar para mitigar los efectos de los mismos son aspectos que solamente desde una buena formación geológica pueden alcanzarse.

A caballo entre la primera y la segunda pregunta es evidente que el acceso a agua potable, el mantenimiento de los distintos ecosistemas, la búsqueda de fuentes de energía renovable y el almacenamiento de residuos peligrosos y, sobretudo, los radioactivos requieren de amplios

conocimientos geológicos que permitan comprender la estructura geológica básica de distintas áreas y como se ha llegado a tal estructura.

También resulta evidente que la perspectiva histórica relativa a la evolución de la vida y cambios ambientales es de gran importancia para intentar comprender mejor el impacto y los efectos que los cambios (eventos) globales producen en los ecosistemas.

Cada vez somos más conscientes del impacto que los humanos estamos causando en nuestro planeta, también nos estamos preocupando por la disminución de recursos (accesibles) conjuntamente con un aumento de la demanda de los mismos ligados al incesante crecimiento en población mundial.

La conciencia terrestre de intentar vivir en un mundo más sostenible, igualitario, respetuoso con el medio ambiente requiere que los geólogos tengamos una visión más amplia de nuestra profesión, que nos exige una fuerte formación en determinadas competencias que nos permitan comprender la Tierra en su conjunto, los procesos que se han dado, se dan y sucederán (incluidos los relacionados con las actividades humanas) y que permitan aportar soluciones a los inminentes retos medioambientales. Los países deberían invertir en la educación básica de sus ciudadanos en conocimientos geológicos desde los primeros años escolares. Mientras esto sucede, el Programa Internacional de Geociencias (IGCP) intenta desarrollar proyectos que tengan un impacto social mediante la formación de expertos e intercambios de experiencias transgeneracional y transnacional y contribuye de una manera decisiva a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el 2030.

El Programa Internacional de Geociencias (IGCP) es una iniciativa conjunta de la UNESCO y de la IUGS que promueve las investigaciones internacionales e interdisciplinarias sobre las Ciencias de la Tierra para el servicio de la sociedad.

La finalidad del IGCP es facilitar la comunicación y los intercambios entre científicos integrando diferentes disciplinas y países alrededor de aspectos de interés común que desarrollen los siguientes objetivos.

- Aumentar el conocimiento sobre los procesos geológicos que afectan al medio ambiente global con el propósito de mejorar las condiciones de vida de los seres humanos.
- Desarrollar métodos más eficaces para encontrar y explotar de manera sostenible los recursos naturales, la energía y las aguas subterráneas.
- Mejorar las normas, los métodos y las técnicas para llevar adelante la investigación en Geociencias, incluyendo la transferencia de conocimiento básico y aplicado entre países desarrollados y en desarrollo.

El IGCP ayuda a la cooperación de científicos de todo el mundo mediante el apoyo a proyectos científicos concretos. Desde su creación, en 1972, el IGCP ha prestado apoyo a casi 400 proyectos en más de 150 países.

El Programa se estructura sobre cinco temas principales: 1) Cambio global y la evolución de la vida: la evidencia de los registros geológicos; 2) Los riesgos geológicos: mitigación de riesgos; 3) Hidrogeología: las geociencias del ciclo del agua; 4) Los recursos de la Tierra: la sustentación de nuestra sociedad y 5) Control geodinámico de nuestro medio ambiente.

Además, los jóvenes científicos representan un importante foco de atención del IGCP. Por un lado se estimula la participación de jóvenes en los proyectos en curso y por otro se ha establecido un programa específico YES (Young Earth Scientists) que apoya la cooperación internacional entre jóvenes científicos de países desarrollados y en desarrollo en las primeras etapas de su carrera.

Un aspecto importante del IGCP es su compromiso efectivo en la contribución a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Así mediante la cooperación y el establecimiento de alianzas internacionales globales, la creación de redes de conocimiento compartido se alcanza el ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos. El apoyo y las oportunidades internacionales que se proporcionan a los jóvenes geocientíficos para desarrollar sus carreras profesionales contribuye al ODS 4: Educación de calidad. Mediante el hincapié en empoderar a las mujeres científicas se desarrolla el ODS 5: Igualdad de género. Mediante el desarrollo de métodos más efectivos para una explotación y uso sostenible de los recursos naturales, en particular de los minerales y del agua subterránea se incide en los ODS 1: Fin de la pobreza; 6: Agua limpia y saneamiento; 7: Energía asequible y no contaminante y 11: Ciudades y comunidades sostenibles. Finalmente el apoyo a la investigación científica a partir de datos del registro geológico que permita comprender el cambio climático a lo largo de la Historia de la Tierra y la evolución de la vida desarrolla el ODS 13: Acción por el clima.

CONCLUSÃO

Los geólogos tenemos la posibilidad de prestar un importante servicio a la sociedad. El conocimiento geológico trasciende fronteras y nos ofrece la posibilidad de comprender los procesos que han formado la Tierra su evolución pasada, presente y futura. Este conocimiento es fundamental para contribuir a la solución de la mayoría de los problemas actuales relacionados con “aspectos terrestres” como por ejemplo, el uso sostenible y la distribución equitativa de los recursos, la gestión adecuada de residuos, la mitigación de riesgos, la contaminación de suelos y acuíferos...

Desde la UNESCO y la IUGS a través del Programa conjunto IGCP se fomenta la formación de profesionales, en especial jóvenes, en algunos de estos aspectos a través de los proyectos que desarrollan cinco áreas temáticas principales: cambio global, riesgos geológicos, hidrogeología, recursos de la Tierra y control geodinámico.

Estos proyectos son interdisciplinarios y fomentan la distribución global de los mismos, de los participantes y de los líderes. Asimismo se promueve el liderazgo de las mujeres y los jóvenes.

El IGCP además contribuye específicamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 1: Fin de la pobreza, 4: Educación de calidad; 5: Igualdad de género, 6: Agua limpia y saneamiento; 7: energía asequible y no contaminante, 11: Ciudades y comunidades sostenibles; 13: acción por el clima y 17: alianzas para lograr los objetivos.

COMUNICAÇÕES ORAIS

ORAL COMMUNICATIONS

The Lamas de Olo microgranite and lamprophyre veins: Petrography and Anisotropy of Magnetic Susceptibility

Os filões de microgranito e lamprófiro de Lamas de Olo: Petrografia e Anisotropia de Suscetibilidade Magnética

A. Oliveira^{1,2*}, H. C. B. Martins^{1,2}, H. Sant'Ovaia^{1,2}

¹ Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007 Porto, Portugal

² Instituto de Ciências da Terra, Polo do Porto, Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007 Porto, Portugal

* up201107754@fc.up.pt

Abstract: At the east sector of the Lamas de Olo granitic pluton, two veins, one microgranitic and the other lamprophyric, are emplaced into different facies of the Vila Real granite. The microgranite is characterized by a quartz + potassium feldspar ± muscovite ± apatite ± biotite ± brookite/anatase mineral assemblage, while the lamprophyre has plagioclase, pyroxene and biotite as essential minerals and amphibole, opaque minerals and quartz as main accessories. AMS results indicate that the microgranite has an unusual magnetic fabric, strongly affected by post-magmatic alterations, and a very low positive magnetic susceptibility. The lamprophyre AMS data indicates the presence of ferromagnetic grains (namely magnetite).

Keywords: Microgranite, Lamprophyre, Petrography, Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS)

Resumo: A Este do plutão granítico de Lamas de Olo, existem dois filões, um microgranítico e outro lamprófiro, instalados em diferentes fácies do granito de Vila Real. No microgranito, a paragénesis mineral apresenta quartzo + feldspato potássico ± moscovite ± apatite ± biotite ± brookite/anatase, enquanto o lamprófiro é composto por plagioclase, piroxenas e biotite como minerais essenciais, e anfíbolos, minerais opacos e quartzo como principais acessórios. Os resultados da ASM apontam para um *fabric* magnético invulgar no microgranito, intensamente alterado por processos pós-magmáticos, assim como uma suscetibilidade magnética positiva e muito baixa. Os dados ASM do lamprófiro indicam a presença de grãos ferromagnéticos (nomeadamente magnetite).

Palavras-chave: Microgranito, Lamprófiro, Petrografia, Anisotropia de Suscetibilidade Magnética (ASM)

INTRODUCTION

In the portuguese sector of the Central Iberian Zone, there are numerous occurrences of granitic/rhyolitic porphyries and mafic dykes, which are possibly related to the late to post-Variscan magmatism mainly recorded in both northern and central Portugal. In Lamas de Olo, two veins of contrasting composition (a microgranite and lamprophyre) outcrop near the Lamas de Olo granitic pluton. A genetic association between all three lithologies has been previously proposed (Pereira, 1989). The microgranite is a very fine-grained granite whose granulometry may or may not be visible in hand sample. In geological maps, granitic porphyries are often mistaken with microgranites. On the other hand, according to Rock (1977) and Streckeisen (1979), lamprophyres are defined as mafic, subvolcanic rocks of porphyritic texture, containing essential biotite, amphibole, clinopyroxene and olivine, and accessory feldspars (and/or feldspathoids), quartz, zeolites and calcite. Geochemically,

lamprophyres are divided into three groups: (i) calc-alkaline (further subdivided in minettes, vogesites, kersantites and spessartites); (ii) alkaline (subdivided in camptonites, sannaites and monchiquites); and (iii) melilitic (which are either alnöites or polzenites). In the present work, petrographic studies were conducted in order to properly classify both veins, and AMS was used to infer about emplacement mechanisms and to deduce magnetic fabric types.

GEOLOGICAL SETTING

According to sheet 10-A (Celorico de Basto, Geological Map of Portugal, scale 1: 50,000) and field observations, a microgranite vein and a lamprophyre dyke outcrop east of the Lamas de Olo granitic pluton (approximately located 100 km ENE of Porto). The microgranite is E-W trending and *ca.* 230 m long, its thickness does not exceed 1 m, and it is emplaced in the contact between the medium to coarse-grained and the fine-grained facies of the Vila Real granite (two-mica, syntectonic granite; Pereira, 1989). The mafic dyke is N53°E trending, *ca.* 300 m long, and has a thickness of 30 to 40 cm. The lamprophyre is exclusively emplaced in the Vila Real granite (medium to coarse grained facies; figure 1).

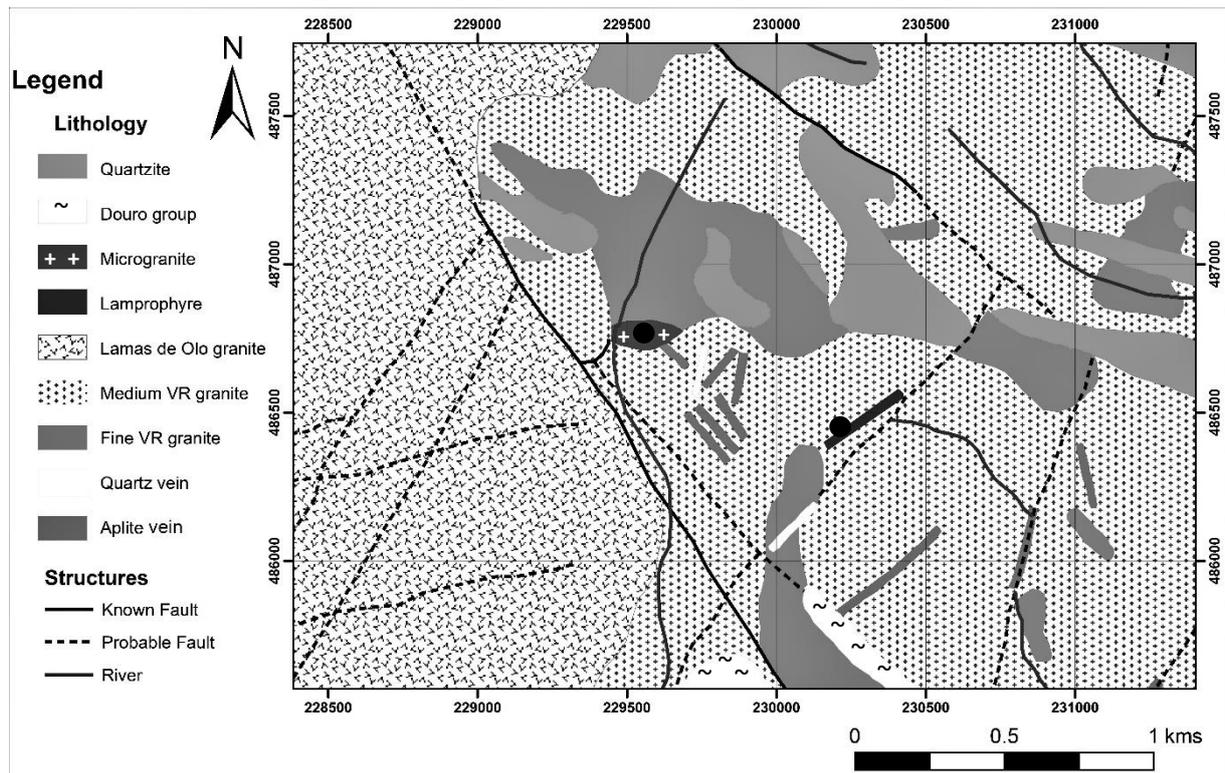


Figure 1 – Simplified geological map of the study area. Dots symbolize sampling site locations.

SAMPLING AND METHODOLOGY

Field sample locations are shown in figure 1. Non-oriented samples were used for thin section and petrographic description. Collection of 15 oriented samples was made using a diamond-pointed mechanical drill and geological compass. These samples were cut in standard sized cylinders (22 to 25 mm in diameter and length). AMS measurements were conducted in the AMS Porto laboratory

(ICT – Porto pole) using a magnetic susceptibility meter, model KLY-4S kappabridge. AMS parameters were calculated with the software SUFAR (version 1.1). Program ANISOFT (version 4.2) was used for statistical treatment of vector results.

PETROGRAPHY

The microgranite presents medium to very fine grain size (0.3 to less than 0.1 cm). In coarser samples texture tends to be phaneritic, while near the contact with the hosting granite texture is microphaneritic. The composing minerals have anhedral habits with roughly the same size. Quartz and potassium feldspar are the main mineral phases, while muscovite, apatite, biotite and brookite/anatase represent accessories. The main composing minerals frequently define intergrowths in granophyric texture, and potassium feldspar grains reveal intense kaolinization (biotite crystals are also completely replaced by chlorite). Veinlets of granitic composition, whose granulometry is coarser, cut the microgranite. These veinlets present essential quartz, potassium feldspar and plagioclase, and accessory muscovite, biotite, opaque minerals, apatite, goethite, sphene (altered in leucoxene) and garnet.

Biotite, pyroxene and plagioclase are the main minerals found in the lamprophyre. Accessory minerals include amphibole, opaque minerals, iron oxides, quartz, apatite, zeolites and zircon. This rock is melanocratic and its texture is aphanitic porphyritic, xenomorphic to hypidiomorphic. The groundmass is composed by pyroxene and plagioclase, which occasionally present intergranular texture. Phenocrysts are mainly biotite or amphibole, subhedral-shaped, and sometimes form glomeroporphyritic texture. The Lamas de Olo lamprophyre is highly altered, as inferred by uralitization in pyroxenes, biotitization in amphiboles and chloritization in biotite.

ANISOTROPY OF MAGNETIC SUSCEPTIBILITY

Magnetic susceptibility (K_m) in the microgranite is extremely low, but positive ($K_m = 0.90$ to $2.84 \mu\text{SI}$). Anisotropy degree (P ; Nagata, 1961) is generally high ($P = 1.70$ to 10.60%) and the AMS ellipsoid shape (parameter T ; Jelínek, 1981) is weakly oblate ($T = -0.58$ to $+0.81$) (table I). Average magnetic lineation ($7^\circ \rightarrow \text{N}62^\circ\text{E}$) and magnetic foliation ($\text{N}43^\circ\text{E} - 19^\circ\text{SE}$) are oblique to the microgranite main trend. This type of magnetic fabric in veins is highly unusual (Raposo & Ernesto, 1995; Hrouda et al., 2016).

AMS results of the Lamas de Olo lamprophyre are extremely different from the previous case (as a result of its mafic nature). Magnetic susceptibility is significantly higher ($K_m = 431.7$ to $1178 \mu\text{SI}$), anisotropy degree is weaker ($P = 1.40$ to 2.10%) and the AMS ellipsoid shape is also weakly oblate ($T = -0.13$ to $+0.42$). Average magnetic lineation ($40^\circ \rightarrow \text{N}138^\circ\text{E}$) is subperpendicular to the dyke trend, while the average magnetic foliation is oblique ($\text{N}105^\circ\text{E} - 57^\circ\text{SW}$), suggesting a near-type III magnetic fabric (Raposo & Ernesto, 1995).

Table I – Average AMS results from the Lamas de Olo microgranite and lamprophyre veins.

Lithology	K_m (μ SI)	P (%)	T	Magnetic Lineation (K_1)	Magnetic Foliation
<i>Microgranite</i>	2.04	4.28	0.14	7° → N62°E	N43°E-19°SE
<i>Lamprophyre</i>	789.47	1.65	0.12	40° → N138°E	N105°E-57°SW

CONCLUSIONS

Petrographic results suggest that the Lamas de Olo felsic vein is a true microgranite (mineralogically equivalent to a muscovite-rich, alkali-feldspar, peraluminous granite). Mineral assemblage is diamagnetically dominated, justifying the low magnetic susceptibility values. Because both magnetic lineations and foliations are generally subhorizontal, the microgranite may be associated with a subhorizontal, west to east magma flow, and shallow roots. Significant post-magmatic alterations are responsible for the ambiguous magnetic fabric type.

Based on petrographic criteria, the studied lamprophyric dyke is classified as kersantite (due to essential plagioclase, pyroxene and biotite). High magnetic susceptibility values indicate the presence of ferromagnetic minerals like magnetite. Hydrothermal processes affected the magnetic fabric, as was verified in the microgranite.

Acknowledgments

The authors thank ICT (Instituto de Ciências da Terra), project COMPETE 2020 (UID/GEO/04683/2013), reference POCI-01-0145-FEDER-007690, for all provided funding. The main author is also financially supported by FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia), through an individual PhD grant (reference SFRH/BD/138818/2018).

References

- Hrouda, F., Verner, K., Kubínova, Š., Buriánek, D., Faryad, S. W., Chlupáčová, M., Holub, F. V., 2016. Magnetic fabric and emplacement of dykes of lamprophyres and related rocks of the Central Bohemian Dyke Swarm (Central European Variscides). *Journal of Geosciences*, 61, pp. 335-354.
- Jelínek, V., 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, 79, pp. 63-67.
- Nagata, T., 1961. *Rock Magnetism*. Maruzen, Tokyo, pp. 1–366.
- Pereira, E., 1989. *Carta Geológica de Portugal na Escala 1:50,000 e Notícia Explicativa da Folha 10-A (Celorico de Basto)*, 53 pp. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Raposo, M. I. B., Ernesto, M., 1995. Anisotropy of magnetic susceptibility in the Ponta Grossa dyke swarm (Brazil) and its relationship with magma flow direction. *Phys. Earth Planet Inter.*, 87, pp. 183–196.
- Rock, N. M. S., 1977. The nature and origin of lamprophyres. *Earth-Science Reviews*, 13, pp. 123-169.
- Streckeisen, A., 1979. Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melilitic rocks: Recommendations and suggestions of the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. *Geology*, 7, pp. 331-335.

Mineralizações de W e Sn, os principais tipos de controlo no NW Peninsular

W and Sn mineralizations, the major control types in NW Peninsular

Lima, L.^{1,2*}, Mota, A.¹, Ramos, V.¹, Fadón, O.³, Noronha, F.¹

¹ Instituto das Ciências da Terra- Polo Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal

² Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Territórios, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal

³ SIEMCALSA- Avda. Rodrigo Zamorano 6, 47151 Boecillo, Valladolid, Espanha

* luis.lima@fc.up.pt

Resumo: O projeto ESMIMET pretende desenvolver o conhecimento técnico e científico sobre a atividade mineira das regiões Norte e Centro em Portugal e de Castela e Leão em Espanha. Foi reavaliado o potencial destas regiões para metais críticos. Como tal, o principal objetivo deste estudo passa pela definição dos principais metalotetos associados às mineralizações de W e Sn. Tal, permitiu a definição das principais características geológicas que desempenharam um papel fundamental na concentração destes elementos. Os principais controlos no que diz respeito à distribuição da mineralização são de natureza paleogeográfica, de natureza petrológica e de natureza estrutural relacionados com as idades das mineralizações. O papel dos metassedimentos e dos granitos é avaliado, pois os primeiros podem atuar como fonte dos metais, aquando da génese de magmas anatéticos e os segundos não só como fonte de fluidos e do essencial do "stock" de metais, mas também como fonte de calor.

Palavras-chave: metaloteto, mineralizações, fluidos, granitos.

Abstract The ESMIMET project aims are to develop the technical and scientific knowledge about the mining activities on the North and Central Portugal and on Castela and Leon in Spain. Thus, the potential of this regions was reevaluated for critical metals. The main goal of this study is to define the main metalotects associated with the W and Sn mineralizations of this region. This allowed to define the main geological features that played a role in the concentration of an element. The main controls regarding the distribution of mineralization are paleogeographic, petrological and structural related to the ages of the mineralizations. The metassediments and granites role is evaluated, since the first can act as a source of metals during the genesis of anatectic magmas and the seconds acting not only as a source of fluids and the essential of metal stock, but as a source of heat, too.

Key-words: metalotect, mineralizations, fluids, granites.

INTRODUÇÃO

O projeto ESMIMET é um projeto INTERREG que pretende desenvolver o conhecimento técnico e científico acerca da atividade mineira metálica das regiões Norte e Centro de Portugal e de Castela e Leon em Espanha. De forma a cumprir com este objetivo este projeto desenvolveu uma avaliação do potencial mineiro destas regiões, através da reavaliação do seu potencial para a produção de W/Sn e subprodutos de valor acrescentado, como é o caso do Mo e Bi. Neste sentido, foi elaborado um inventário de todos os jazigos minerais de W e Sn, bem como a caracterização dos 15 depósitos mais representativos e da sua mineralização. Assim, foi possível distinguir as diferentes tipologias de ocorrência mineral, podendo estes ocorrer sob a forma de filões pegmatíticos, filões quartzosos,

skarns e rochas calcossilicadas. Este estudo permitiu a determinação das características geológicas que desempenharam um papel na concentração de um ou mais elementos que contribuiu para a formação de jazigos minerais, podendo estas características ser definidas como um metaloteto. Como tal, os metalotetos podem ser de natureza estrutural, estratigráfica, litológica e geoquímica, podendo combinar de igual forma espaço e tempo. Este trabalho tem como principal objetivo a definição dos principais metalotetos associados às mineralizações de W e Sn da região em estudo.

METALOTETOS

A existência de eixos de mineralização é uma realidade no NW Peninsular (Neiva, 1944) e é resultante de interações de diversas naturezas. As mineralizações de W e Sn distribuem-se preferencialmente segundo alinhamentos paralelos à estruturação Varisca e da mesma forma são paralelos aos maciços graníticos e aos sistemas de fracturação tardi-Variscos. Ou seja, verifica-se a existência de controlos no que diz respeito à distribuição da mineralização podendo ser de natureza paleogeográfica, de natureza petrológica ou de natureza estrutural. Desta forma, os granitos desempenham um papel determinante, não só como eventual fonte de metais, mas também como fonte fluidos e de calor necessário para a movimentação de fluidos não magmáticos envolvidos no processo mineralizante.

Controlos de Natureza Paleogeográfica

A existência de pré-concentrações nos metassedimentos do Complexo Xisto-Grauváquico e do Paleozoico Inferior demonstram a ocorrência de uma evolução paleogeográfica. Tal ocorre porque as bacias onde se depositaram os sedimentos foram alimentadas a partir de antigos continentes e desta forma os seus sedimentos revelam pré-concentrações de elementos metálicos que resultaram da erosão de crustas já especializadas (Romer e Kroner, 2015; 2016). Um outro controlo desta natureza foi a ocorrência de vulcanismo no Ordovícico e no Silúrico que poderá também ter funcionado como origem de metais exalativa-sedimentar (Ribeiro e Pereira, 1981).

Controlos de Natureza Petrológica

Os controlos de natureza petrológica podem ser de vários tipos, desde a natureza dos magmas graníticos, o seu nível de instalação, os processos de diferenciação magmática, bem como a sua geoquímica.

A natureza do material que funde é determinante na origem dos granitos férteis, não só pela presença de pré-concentrações, mas também pelo seu quimismo. No primeiro caso os metassedimentos podem desempenhar um papel importante como fonte de metais, isto é, os metassedimentos podem estar na origem do W e ou do Sn posteriormente concentrados. No que diz respeito ao quimismo, uma fonte crustal mais rica em K (p.e. argilitos e filitos) é diferente de uma fonte mais rica em Na (p.e. grauvaque), pelo que condicionará a posterior concentração e/ou mobilidade dos elementos metálicos.

No caso da profundidade de instalação esta irá condicionar a velocidade do processo de cristalização. Desta forma, os granitos tipo S apresentam uma maior profundidade de instalação que a dos granitoides biotíticos (Tipo I), pois resultam da cristalização de magmas ricos em água gerados na crosta média e que, conseqüentemente, têm um intervalo de cristalização muito menor que os dos granitos biotíticos. Estes últimos com uma profundidade de instalação variável têm implicações na ocorrência dos tipos de mineralização, ou seja, granitos que se instalam entre os 4 e 6 km de profundidade não revelam mineralizações filonianas associadas e pelo contrário os que se instalam a menor profundidade implicam metamorfismo de contacto, metassomatismo e, conseqüente deposição de elementos metálicos.

No que diz respeito à diferenciação magmática, o Sn e o W apresentam comportamentos distintos no caso do Sn os teores deste elemento podem chegar aos 800 ppm em leucogranitos albiticos (Charoy e Noronha, 1996), teores idênticos podem ser atingidos por processos de diferenciação magmática; o mesmo não acontece para o W pois este elemento não se enquadra num esquema normal de diferenciação magmática, sendo necessário procurar processos pós-magmáticos para explicar as concentrações. O W necessita de menor acidez que o Sn para ser libertado dos minerais, pois é mais alcalino e sua deposição está mais associada a processos de microclinização enquanto que a do Sn se associa ao de albitização e/ou posterior formação de greisens . Desta forma, os processos de alteração tardi e pós-magmáticos e os fluidos hidrotermais têm um papel importante na concentração de elementos metálicos.

No caso da geoquímica das rochas graníticas esta também ajuda a distinguir leucogranitos moscovíticos de granitos com moscovite>biotite ou com biotite>moscovite, sendo que os primeiros estão, na sua maioria, associados a mineralizações. Se tivermos em conta o comportamento do K, Rb, Ba e Sr é de notar altos teores em Rb e baixos teores da Ba, Sr e da razão K/Rb nos granitos das áreas mineralizadas. Estes são também caracterizados por serem os mais pobres em TR e apresentam espectros característicos. Os granitos anatóticos de duas micas apresentam maior diferenciação entre TRL e TRP com empobrecimento destas últimas e os granitos biotíticos são mais ricos que os primeiros em TRP.

Controlo de natureza estrutural e idade das mineralizações

As mineralizações de Sn e W ocorrem condicionadas na sua maioria por estruturas regionais Variscas, sendo que estas estruturas não só constituem uma via para a instalação dos granitos como para a circulação dos fluidos, controlando, assim, a localização das estruturas mineralizadas.

Como tal, a maioria de jazigos das regiões em estudo estão agrupados em dois tipos dominantes: uns paralelos às estruturas da cadeia Varisca em zonas de cisalhamento regionais como, por exemplo, os cisalhamentos de Laza- Rebordelo (CLR), Vigo- Régua (CVR) de Vivero-Ifanes-Villacampo (CVI) o de Juzbado-Penalva do Castelo (CJPC),e Dúrico-Beirão (CDB) ; outros em alinhamentos que

correspondem a sistemas de fraturas tardi-Variscas, onde se enquadram os grupos de alinhamentos de fratura NNE-SSW e NNW-SSE (Iglesias e Choukroune, 1980; Gonzalo e López-plaza, 1983, Pereira et al., 1993, Marques et al. 2002).

Considerações finais

Os jazigos de Sn e W do NW Peninsular definem a chamada “Provincia Metalogénica de Sn e W” (Neiva 1944) ou zona “Mineralogénica Setentrional” (Thadeu, 1965). Em termos litoestratigráficos, algumas litologias podem reunir condições favoráveis à presença de pré-concentrações de metais, nomeadamente W e de Sn. Isto é, os metassedimentos podem não só atuar como fonte dos metais aquando da génese de magmas anatóticos como contribuírem com metais depois concentrados pelos fluidos pós-magmáticos. No que diz respeito aos granitos estes devem ser encarados como imprescindíveis à ocorrência de mineralizações, contudo desempenhando um papel diferente nos processos genéticos. Mais do que fonte dos fluidos e do essencial "stock" de metais, os granitos devem ser encarados também como fonte de calor imprescindível para a existência de bons circuitos convectivos geradores dos recursos minerais. A profundidade de instalação destes vai condicionar a velocidade do processo de cristalização, bem como os tipos de mineralização. Para além disso, os termos mais evoluídos com Sn são mais ricos em Na e mais ricos em albite, e por outro lado, em granitos espacialmente associados a mineralizações de W são mais ricos em K e há uma feldspatização com microclina.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: ao projeto POCTEP- Interreg 0284_ESMIMET_3_E “Desarrollo de Capacidades Interregionales en torno a los Recursos Estratégicos en Minería Metálica” pelo apoio financeiro; ao Instituto Ciências da Terra - Pólo Porto pela utilização dos seus laboratórios para realização dos estudos para este trabalho

Bibliografia

- CHAROY, B., NORONHA, F. (1996) - Multistage growth of a rare-element, volatile-rich 548 microgranite at Argemela (Portugal): *Journal of Petrology*, 37, 73-94.
- GONZALO FJ, LÓPEZ-PLAZA M (1983). Tipificación estructural de los filones estaño wolframíferos más representativos de la penillanura salmantino-zamorana. *Stvd. Geol. Salmanticensia*. 18: 159-170.
- GOUANVIC, Y., COURRIOUX, G., OVEJERO, G. (1981) - Controllo structural de la répartition des indices d'or filoniens du nord ouest de la Péninsule Ibérique. *Cuad. Geología Iberica* 7: 353-367
- IGLESIAS, M.P.L., CHOUKROUNE, P., (1980) - Shear zones in the iberian Arc. *Journal of Structural Geology*, 2 (1-2): 63-68.
- NEIVA, J.M.C., 1944. Jazigos portugueses de volframite e cassiterite. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, XXV, 1-251.
- MARQUES. F.O., MATEUS, A., TASSINARI, C.C., (2002). The Late-Variscan fault network in central-northern Portugal (NW Iberia): A re-evaluation. *Tectonophysics* 359: 255-270.
- PEREIRA, E., RIBEIRO, A., MEIRELES, C. (1993). Cisalhamentos hercínicos e control das mineralizações de Sn-W, Au e U na Zona Centro-Ibérica, em Portugal. *Cuad. Lab. Xeolóxico de Laxe, Coruña*, Vol. 18: 89-119
- RIBEIRO, A e PEREIRA, E. (1981). Controllo paleogeográficos, petrológicos e estruturais na génese de jazigos portugueses de estanho e volfrâmio. *Geonovas* 1 (3): 23-31
- ROMER RL, KRÖNER U (2015). Sediment and weathering control on the distribution of the Paleozoic magmatic tin-tungsten mineralization, *Mineralium Deposita* pp. 327–338 DOI 10.1007/s00126-014-0540-5
- ROMER RL, KRÖNER U (2016). Phanerozoic tin and tungsten mineralization-Tectonic controls on the distribution of enriched protoliths and heat sources for crustal melting. *Gondwana Research* 31: 60–95.
- THADEU, D., 1965. Carta mineira de Portugal na escala de 1/500 000 : notícia explicativa. *Monografia - Serviços Geológicos de Portugal*, 46p.

Estudo Gravimétrico em Contexto Granítico no Concelho de Amares

Gravimetric survey in a granitic context on Amares region

M. Angélico^{1*}, B. Pereira², R. Moura¹, H. Sant'Ovaia¹

¹ Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Instituto de Ciências da Terra (pólo do Porto), Rua do Campo Alegre, 4169-007 Porto

² Sinergeo – Soluções Aplicadas em Geologia, Hidrogeologia e Ambiente Lda., Rua Manuel Ferreira de Araújo, Nº 37 - Lomar e Arcos 4705-258 Braga

* up2013028@fc.up.pt

Resumo: Os métodos geofísicos são aliados da prospeção geológica, uma vez que permitem o estudo das características geológicas no subsolo. A gravimetria, em particular, permite identificar estruturas geológicas e/ou definir a geometria de corpos em profundidade, através da diferença de densidade entre estas estruturas e as encaixantes. O principal objetivo, através do estudo gravimétrico realizado, foi a identificação das estruturas/ rochas regionais, fraturas e zonas de cisalhamento, que podendo ter água termal associada, são particularmente úteis para o conhecimento do potencial geotérmico das regiões em estudo. Os resultados foram obtidos através da geração de mapas de anomalia de Bouguer com o uso do software *Oasis Montaj*. Através dos mapas residuais criados a partir dos mapas de anomalia de Bouguer e da tendência regional, detetaram-se diferenças de densidade acentuadas dentro do maciço granítico que permitiram pôr em evidência a existência de estruturas e de contactos entre granitos com diferentes graus de alteração.

Palavras-chave: Gravimetria, Anomalia de Bouguer, Densidade, Potencial Geotérmico.

Abstract: Geophysical methods are allies of geological exploration, since they allow studying the geology in terms of depth. Among them, gravimetry method allows the identification of geological structures and/or geometry of bodies in depth, through differences in density between these structures and host rocks.

The main objective of this work, through the gravimetric study, was the identification of regional structures fractures and shear zones, which may have associated thermal water, and are particularly useful for the knowledge of the geothermal potential of the regions under study. In addition, the identification of structures is important as a contribution to regional mapping. The results were obtained by generating Bouguer anomaly maps using the Oasis Montaj software. Through residual maps created from Bouguer's anomaly maps and regional anomaly, sharp density differences were detected within the granitic massif, which showed the existence of structures and contacts between granites with different degrees of alteration.

Key-words: Gravimetry, Bouguer Anomaly, Density, geothermical potential

INTRODUÇÃO

A campanha gravimétrica realizou-se em duas áreas do território minhoto, Amares e Caldelas, onde o principal objetivo foi a identificação de estruturas geológicas, em particular zonas de cisalhamento, uma vez que existem indícios de água termal associados a uma estrutura regional. Localizam-se no Noroeste de Portugal, no distrito de Braga e concelho de Amares. A região enquadra-se no Maciço Hespérico, na Zona Centro Ibérica. A área de Amares é abrangida pela folha 5-D (Braga) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, onde predominam essencialmente rochas graníticas de

diferentes granularidades, texturas e composição. Estes granitoides correspondem a cerca de 80% da área aflorante, e distribuem-se paralelamente à zona de cisalhamento dúctil Vigo – Régua ou à fraturação tardi-hercínica (Ferreira *et al.*, 2000). A zona de Caldelas é abrangida pela folha 5-B (Ponte da Barca) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, sendo essencialmente montanhosa, com relevos importantes, como os dos Maciços do Gerês. Na área de estudo ocorrem granitoides calcoalcalinos e alcalinos. As nascentes de Caldelas situam-se na zona de contacto de granitos grosseiros porfiroides e granitos de grão médio. Este contacto faz-se para Este das nascentes, sendo semi-gradativo com direção N20° - 40W, sub-vertical.

MÉTODO GRAVIMÉTRICO

O método gravimétrico mede variações da aceleração da gravidade provocadas por contrastes de densidade entre corpos com a mesma espessura, ou pela variação de espessura ou topografia dum corpo com a mesma densidade. Assenta no pressuposto de que uma massa anómala existente na subsuperfície causa uma perturbação no campo gravítico a que se dá o nome de anomalia gravimétrica (Kearey *et al.*, 2002). Para se determinar a anomalia gravimétrica é necessário corrigir variações no campo gravitacional terrestre que não resultam exclusivamente da diferença de densidade de rochas que se encontram na subsuperfície. O objetivo de um trabalho gravimétrico é a obtenção das anomalias de Bouguer e residual, sendo para tal necessário aplicar correções: correção da deriva instrumental; correção dos efeitos tidais; correção da latitude; correção de ar livre; correção de Bouguer e correção de terreno. Para estas últimas correções é necessário conhecer o valor da densidade média das rochas presentes na região em estudo. Neste caso as densidades foram obtidas pelo método de Nettleton (1939) que estima o valor de densidade que minimiza a correlação entre a anomalia de Bouguer e altitude. No final de todas as correções é obtido o resultado da anomalia completa de Bouguer de cada estação medida, dado pela diferença entre o g_{obs} (obtido a partir a partir da “Geodesia – Rede Gravimétrica” disponibilizada pela Direção-Geral do Território, que apresenta valores de gravidade absoluta por Portugal Continental), ajustado pela soma algébrica de todas as correções referidas anteriormente, e os valores obtidos em cada estação (g_{base}). As anomalias de Bouguer são frequentemente caracterizadas por anomalias amplas, com grandes dimensões e com origem profunda denominadas anomalias regionais. Sobrepostas a estas, ocorrem anomalias de menor comprimento de onda, as anomalias residuais. A separação da anomalia residual pode ser feita através de diversos métodos complementados pela informação geológica das estruturas presentes (falhas, zonas de cisalhamento, etc.) e da densidade das rochas.

METODOLOGIAS

As áreas de estudo foram definidas e delimitadas através do *software Google Earth*. Ao analisar cada uma delas optamos por dispor uma rede de amostragem com pontos de 300 m em 300 m equidistantes entre si. Procedemos então ao reconhecimento inicial no campo, do qual resultou um

total de 43 pontos de medida em Amares e 57 em Caldelas. Em Amares os pontos foram dispostos em perfis sensivelmente E-W, de forma a intercetar possíveis estruturas regionais N-S, evidenciadas na cartografia. Já em Caldelas, devido à irregularidade em termos de vegetação e altitude, não se realizaram perfis, mas pontos dispersos por toda a área. Foram definidas as “estações base”, nas quais foram realizadas medidas a cada 1h ou 2h do dia, para se corrigir os efeitos resultantes da deriva instrumental e tidais. Em cada um dos locais de estudo optamos por ter duas “estações base”, visto se tratarem de áreas com dimensões consideráveis. Seguidamente foram realizadas as correções gravimétricas necessárias usando uma folha *excel* e as correções de terreno foram realizadas recorrendo ao MatLab. No final geraram-se os mapas de anomalia de Bouguer e anomalia residual através do *software Oasis Montaj*.

RESULTADOS

Para a realização dos mapas, os dados começaram por ser interpolados (grelha com dimensão de 109.52 m em Amares e 122.27 m em Caldelas) através do algoritmo de curvatura mínima, para posteriormente originar os mapas de anomalia residual de cada uma das áreas, com recurso ao método polinomial. Após a geração dos 3 mapas de anomalia residual (polinómio de 1ª, 2ª e 2ª ordem), optamos por, em ambos os casos, usar o mapa obtido pelo polinómio de 2ª segunda ordem, com base na bibliografia consultada (Martínez-Moreno *et. al.*, 2015). As figuras 1 e 2 ilustram os mapas de anomalia residual para Amares e Caldelas.

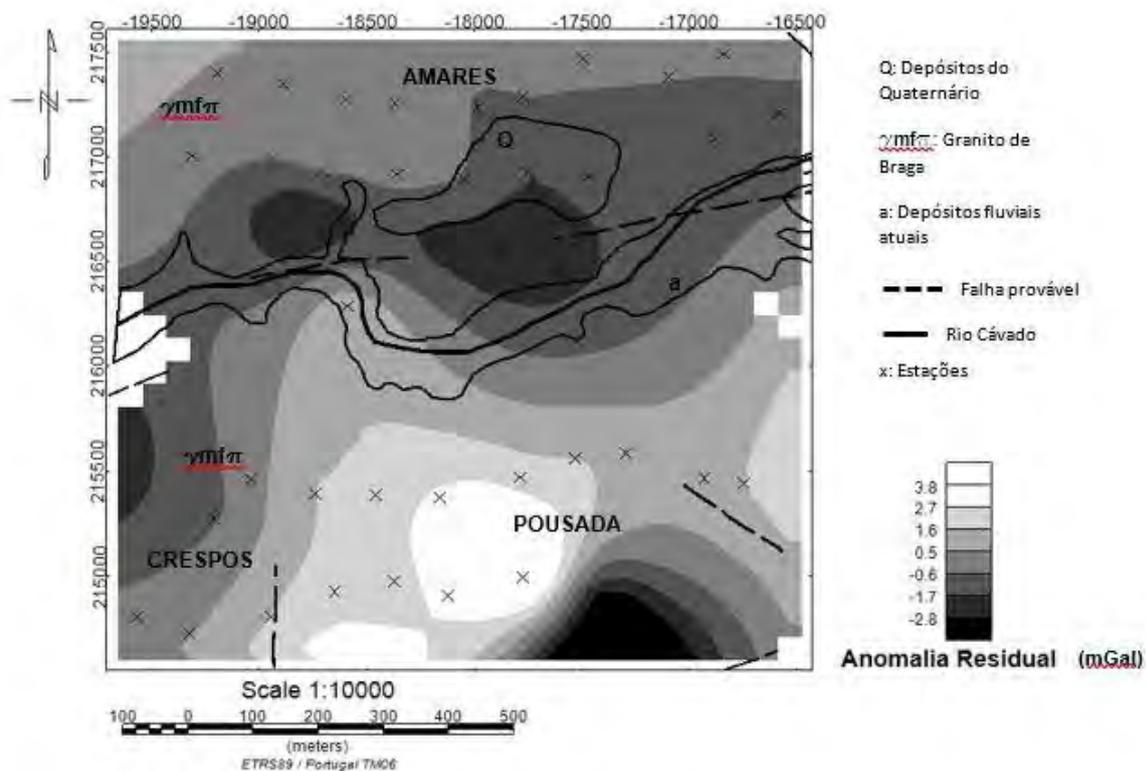


Figura 1: Anomalia residual da região de Amares. Geologia de acordo com a carta geológica à escala 1:50000 5D- Braga.

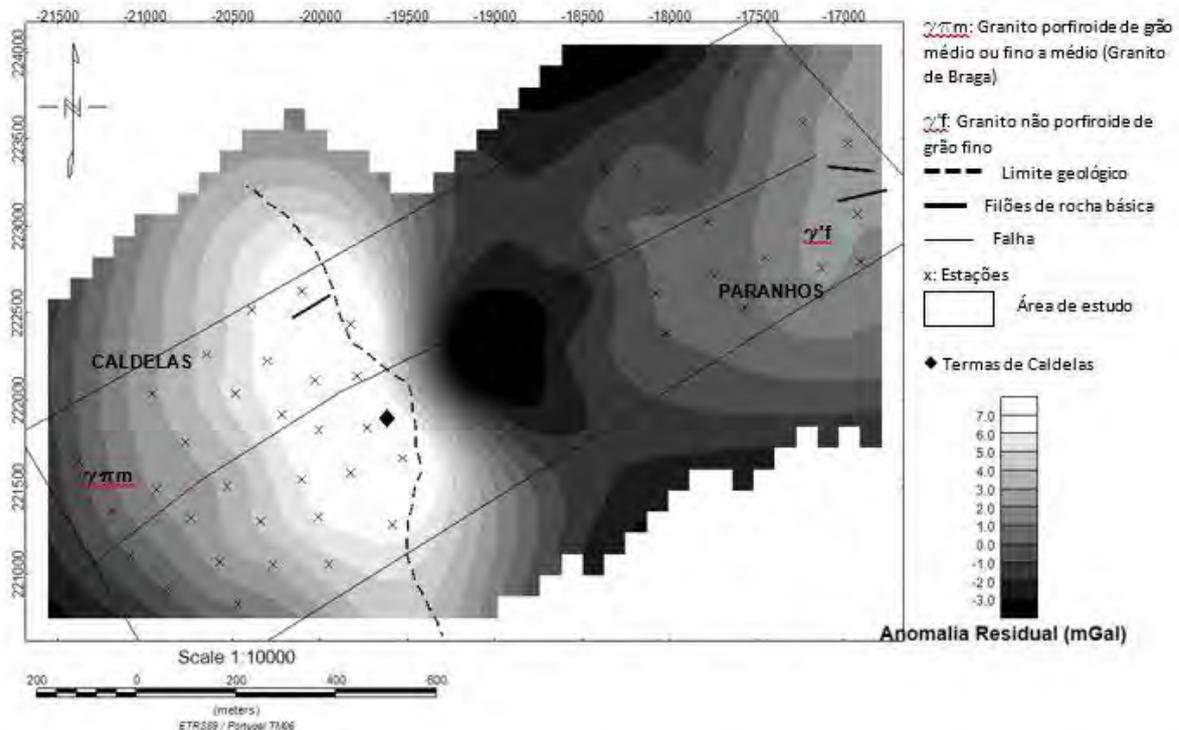


Figura 2: Anomalia residual da região de Celdelas. Geologia de acordo com a carta geológica à escala 1:50000 5B- Ponte da Barca.

CONCLUSÃO

O mapa da anomalia residual fornece as informações mais importantes acerca de estruturas e contatos uma vez que houve a redução do efeito regional. No caso de Amares, esta varia entre os -2.8 mGal e 3.8 mGal, sendo identificável a zona de aluvião, do curso do rio e dos materiais do Quaternário, devido à sua baixa densidade. No entanto a anomalia residual parece também estar relacionada com as falhas prováveis cartografadas. É também visível o contacto brusco que ocorre a Sul do rio entre materiais de densidade mais alta (branco) e muito mais baixa (preto). Os contrastes de densidades presentes por todo o mapa poderão indicar a presença de fraturas e são importantes, pois identificam graus diferentes de alteração do mesmo granito. Na região de Celdelas os valores da anomalia residual variam entre 7.0 mGal e -3.0 mGal. A baixa densidade obtida pelo método de Nettleton, pode ser justificada pela elevada alteração dos granitos na zona termal. A diferença brusca de densidade observada perto do limite geológico provável confirma esse limite, pondo em evidência o contacto entre o granito de Braga e o granito porfiróide de grão grosseiro ou médio a grosseiro. A zona anomalia residual mais negativa (preto) sugere a existência de uma caixa de falha, aspeto corroborado pela análise da fotografia aérea. Deve, no entanto, ser salientado que as fortes variações topográficas na zona de Celdelas, podem influenciar os valores obtidos.

Bibliografia

- FERREIRA, N., DIAS, G., P. DE MEIRELES, CARLOS, A., SEQUEIRA BRAGA. (2000) – Notícia Explicativa da Folha 5-D Baga na escala de 1:50000. 2ª edição. Departamento de Geologia. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa, 2000.
- KEAREY, P., BROOKS, M., HILL, I. (2002) - An Introduction To Geophysical Exploration. 3rd Ed., 281 pp., Blackwell Science Ltd. Oxford.
- MARTÍNEZ-MORENO, F. J., GALINDO-ZALDÍVAR, J., PEDRERA, A., TEIXIDÓ T., PEÑA, J. A., & GONZÁLEZ-CASTILLO, L., (2015) - Regional and residual anomaly separation in microgravity maps for cave detection: The case study of Gruta de las Maravilhas (SW Spain). Journal of Applied Geophysics, 114, 1-11.

Biotite porphyroblast microstructures in the Almendra (Vila Nova de Foz Côa) region

Microestruturas de porfiroblastos de biotite na região de Almendra (Vila Nova de Foz Côa)

J. Cardoso-Fernandes^{1*}, M. Ribeiro¹, A. Lima¹, E. Roda-Robles², A. C. Teodoro¹, J. Lima¹

¹ University of Porto, Faculty of Sciences, DGAOT, ICT (Institute of Earth Sciences), Rua Campo Alegre s/n, Porto, Portugal

² Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Departamento Mineralogía y Petrología, Bilbao, Spain

* joana.fernandes@fc.up.pt

Abstract: Porphyroblasts can give significant insights about the tectonometamorphic history of a region. Metapelite samples from the Almendra (Vila Nova de Foz Côa) region were investigated and the associated microstructures documented allowing to conclude that biotite porphyroblastesis was pre- to sin- a later deformation phase (probably D₃). Smaller, mimetic biotite crystals also occur in the matrix. Most porphyroblasts present unzoned inclusion patterns, but zoned patterns were also observed. The most frequent type of inclusions was interpreted to be the product of the biotite-forming chemical reaction. A second type of inclusions probably reflects later matrix overgrowth.

Key-words: Inclusions; Blastesis; Deformation

Resumo: Os porfiroblastos podem ajudar a compreender a história tectono-metamórfico de uma região. As microestruturas analisadas em amostras de metapelitos da zona de Almendra (Vila Nova de Foz Côa) permitiram concluir que a blastese de porfiroblastos de biotite é ante- a sin- um episódio de deformação tardio (provavelmente D₃). Na matriz ocorre também biotite mais pequena e mimética. A maioria dos porfiroblastos não apresenta padrões de inclusões zonados, apesar de existirem cristais com padrões zonados. O tipo de inclusões mais frequente foi interpretado como sendo o produto da reação química que forma biotite. O segundo tipo de inclusões provavelmente reflete um crescimento tardio sobre a matriz.

Palavras-chave: Inclusões; Blastese; Deformação

INTRODUCTION

The nature and geometry of porphyroblast inclusion trails, especially passive inclusions, can be very important in assessing the tectonometamorphic history of orogenic belts, since they provide information about the blastesis process, the previous matrix fabric and the style of strain at the time of porphyroblast growth (Lister *et al.*, 1986; Miyake, 1993; Kim & Cho, 2008; Camilleri, 2009). In upper greenschist to lower amphibolite facies, biotite porphyroblast growth follows a two-stage constructive phase: the first, dominated by chemical replacement of the matrix with incorporation of passive inclusions, and the second dominated by blastesis of inclusion-free biotite in extensional cracks and dilating pressure shadows (Lister *et al.*, 1986; Miyake, 1993; Kim & Cho, 2008; Camilleri, 2009). These are followed by a destructive phase with fracturing, residual growth, and rotation (Camilleri, 2009). The focus of this study was biotite growth and associated microstructures in metapelites from the Almendra region (Central Iberian Zone). The samples were collected along a transverse section of the Bajoca Li-pegmatite (host rock and metapelite enclaves) to study the associated alteration halos, but the microstructures found are also noteworthy.

GEOLOGICAL SETTING

The area is dominated by metasedimentary rocks, of Upper Proterozoic to the Lower Cambrian age (Díez Balda *et al.*, 1990), belonging to the Schist-Greywacke Complex (SGC), more precisely the Douro Group, limited to the north by the Lower Ordovician quartzites from the Poiães' syncline and to the south by the Figueira de Castelo Rodrigo–Lumbrals Anatectic Complex (FCR–LAC; Pereira *et al.*, 2017). The metasediments were affected by a pre-D₃ prograde metamorphism that did not overcome the chlorite zone, and in the vicinities of the FCR–LAC sin- to late-D₃ thermal peak reached the sillimanite zone (Silva & Ribeiro, 1991, 1994). The metamorphic grade increases progressively to the south, in the direction of the FCR-LAC. The metamorphic isogrades have a W-E trend, parallel to the granites (Silva & Ribeiro, 1991, 1994). The Bajoca pegmatite is in the andalusite zone near the transition to the biotite zone (Silva *et al.*, 1990).

BIOTITE MICROSTRUCTURES AND INCLUSION TRAILS

Biotite microstructures were investigated in thin sections normal to the foliation, allowing the identification of two types of crystals: (i) mostly poikiloblastic porphyroblasts (1-1.5 mm); (ii) biotite crystals disperse in the matrix, of smaller dimensions. The matrix crystals are essentially inclusion-free, randomly oriented, but often concordant with the main foliation (S_n). Most of these crystals were interpreted as mimetic over a previous foliation. The biotite porphyroblasts show random orientations, although most of the porphyroblasts are oriented with the (001) cleavages at a high angle with S_n . The random orientation of biotite can be the result of nucleation under static conditions (Kim & Cho, 2008). This random distribution allied to (i) the adaptation of the external foliation (S_e) around some porphyroblasts (Fig. 1-A), and (ii) the existence of deformed porphyroblasts, indicate that biotite blastesis began after the deformation phase (D_n), responsible for the formation of S_n , being biotite growth pre- to sin- a later deformation phase (D_{n+1} , probably D_3), responsible for a generally incipient crenulation.

The inclusions of the porphyroblasts are mainly quartz, and can be divided into two types (Fig. 1): (i) Type 1 corresponds to quartz of very small dimensions when compared to the matrix, with ellipsoidal to drop-like form, forming gently- to well-defined inclusions trails (S_i), mostly showing an oblique to normal relationship with the (001) cleavage, with several trends and dips, but often sub-concordant with S_e (Fig.1-A); (ii) Type 2 consists of quartz with bigger dimensions, less frequent, with often random orientations, occasionally aligned parallel or oblique to the (001) cleavage, and sometimes concentrated in the porphyroblast edges (Fig. 1-B). The majority of the porphyroblasts is unzoned (Fig. 1-A) indicating growth in a static environment with low or no strain (Camilleri, 2009). Zoned porphyroblasts are also observed (Fig. 1-B; C), normally with included cores and inclusion-free borders parallel to the (001) faces. The zoning patterns can result from sin-tectonic growth of biotite in pressure shadows of porphyroblasts with (001) at high angle with S_n (Lister *et al.*, 1986; Miyake, 1993; Camilleri, 2009).

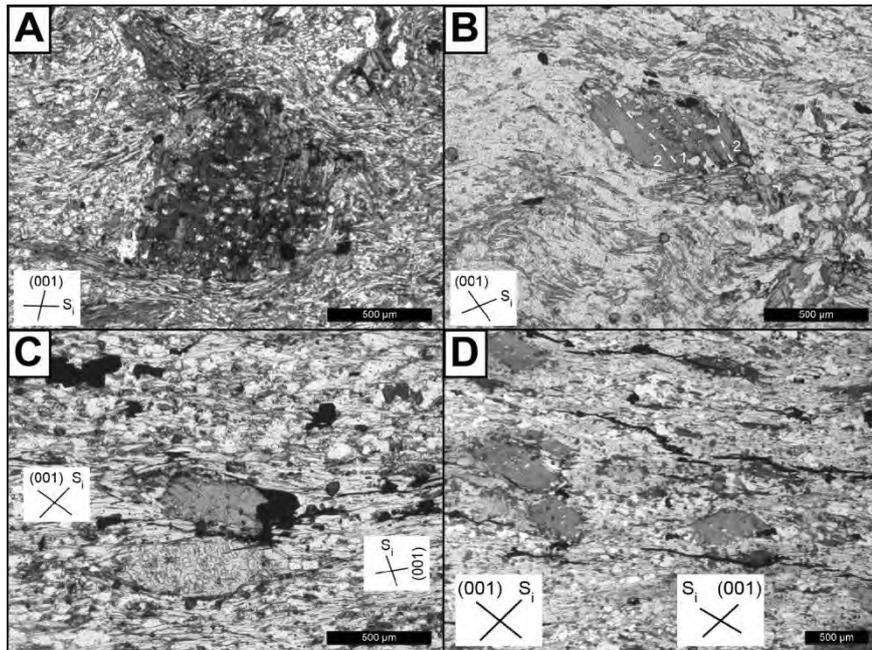
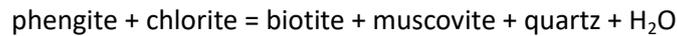


Figure 1 – Photomicrographs of biotite microstructures under plane-polarized light. A: Unzoned porphyroblast with poikiloblastic rim. Adaption of S_n around the crystal is visible. B: Zoned porphyroblast with an included core (1) and less-included borders (2). Two inclusions types are visible. Top right corner of the crystal appears to have suffered dissolution. C: Bottom porphyroblast with the cleavage parallel to S_e , while S_1 is oblique to S_e . Top porphyroblast with opposite S_1 and (001) orientations. D: Deformation corridor with porphyroblasts showing opposition trends and dips of S_1 and (001) cleavage.

Figura 1 – Microfotografias de microestruturas de biotite em luz plana-polarizada. A: Porfiroblasto não zonado com bordo poiciloblástico. É visível a adaptação de S_n em torno do cristal. B: Porfiroblasto zonado com núcleo com inclusões (1) e bordos menos incluídos (2). Dois tipos de inclusões visíveis. Canto superior direito do cristal parece ter sofrido dissolução. C: Porfiroblasto em baixo com clivagem paralela a S_e , enquanto S_1 é oblíqua a S_e . D: Corredor de deformação com porfiroblastos a evidenciar direções e inclinações opostas de S_1 e de (001).

Inclusion trails similar to Type 1 inclusions, with the same oblique to normal relationship with (001) cleavage, were interpreted in other regions as passive inclusions composed by matrix grains defining a pre-existing foliation (Lister *et al.*, 1986; Kim & Cho, 2008; Camilleri, 2009). The systematic transverse character with the crystal cleavage can be explained by preferential growth, under static conditions, of porphyroblast with (001) at a high angle with the foliation, and the varying orientation and dips of the inclusion trails as the result of different initial crystallographic orientations (Lister *et al.*, 1986; Camilleri, 2009). However, in this study it was possible to observe a small number of porphyroblasts with the (001) cleavage parallel to sub-parallel to S_e , but with inclusion trails still oblique or normal to (001) and, therefore, to S_e (Fig. 1-C). This could be explained by passive incorporation of inclusions from the matrix in porphyroblasts that originally growth with (001) at high angle with the S_n , that were subsequently rotated. This rotation would also help explain the varying trends and dips of inclusion trails (Miyake, 1993; Camilleri, 2009). Nevertheless, the existence of adjacent porphyroblasts in the same deformation corridor with the (001) cleavages and inclusion trails oriented in opposing directions (Fig. 1-C; D) is incompatible with the rotation theory. It is also necessary to explain the granularity difference between Type 1 inclusions and the matrix quartz. This granularity difference coupled with the often drop-like morphology of the inclusions, and the consistent oblique to normal

relations with the (001) cleavage, points that Type 1 inclusions are not passive inclusions but instead the product of the metamorphic reaction that forms biotite (Miyashiro, 1978):



The resultant quartz would be then incorporated into the growing porphyroblast, and this incorporation would be conditioned crystallographically by the biotite cleavage.

In what concerns the Type 2 inclusions, they may represent small inclusions that grew during the metamorphic process or matrix grains that were later included. These inclusions may be linked with the final stage of the biotite constructive phase in which occurs matrix overgrowth in all directions (Camilleri, 2009). The final stage is evidenced by poikiloblastic or dendritic rims (Fig. 1-A).

Some indication of biotite deformation was also found, namely, porphyroblast rotation, the local formation of extension fractures parallel to the (001) cleavage and dissolution of porphyroblast corners that endured rotation representing a destructive phase (Fig. 1-B).

FINAL CONSIDERATIONS

Two types of biotite were identified: (i) pre- to sin-D_{n+1} (probably D₃) poikiloblastic porphyroblasts; (ii) smaller biotite crystals, mimetic over the matrix S_n foliation. Most porphyroblasts present unzoned inclusion trails. The inclusions can be divided into two types. Type 1 corresponds to a product of the metamorphic reaction instead of passive inclusions as documented in other studies. Type 2 corresponds to matrix inclusions due to overgrowth. The porphyroblasts are not the result of a classic Barrovian metamorphism but instead of a low-pressure and high-temperature static metamorphism.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the financial support provided by FCT with the ERA-MIN/0001/2017 - LIGHTS project and to FEDER through the operation POCI-01- 0145-FEDER-007690 funded by COMPETE2020 and by National Funds through FCT within ICT, R&D Unit (reference UID/GEO/04683/2013). J. Cardoso-Fernandes is financially supported within the compass of a Ph.D. Thesis, ref. SFRH/BD/136108/2018, by national funds through FCT, and co-financed by ESF through POCH.

References

- CAMILLERI, P.A. (2009) – Growth, behavior, and textural sector zoning of biotite porphyroblasts during regional metamorphism and the implications for interpretation of inclusion trails: Insights from the Pequop Mountains and Wood Hills, Nevada, USA. *Geosphere*, vol. 5 (3): 215–251.
- DÍEZ BALDA, M.A., VEGAS, R., & LODEIRO, G. (1990) – Central Iberian Zone: structure. In R. D. Dallmeyer & E. Martinez Garcia (Eds.), *Pre-Mesozoic geology of the Iberian Peninsula* (pp. 172–188). Springer Verlag.
- KIM, Y., CHO, M. (2008) – Two-stage growth of porphyroblastic biotite and garnet in the Barrovian metapelites of the Imjingang belt, central Korea. *Journal of Metamorphic Geology*, vol. 26: 385-399.
- LISTER, G.S., BOLAND, J.N., ZWART, H.J. (1986) – Step-wise growth of biotite porphyroblasts in pelitic schists of the western Lys-Caillaouas massif (Pyrenees). *Journal of Structural Geology*, vol. 8 (5): 543-562.
- MIYAKE, A. (1993) – Rotation of biotite porphyroblasts in pelitic schist from the Nukata area, central Japan. *Journal of Structural Geology*, vol. 15 (11): 1303-1313.
- MIYASHIRO, A. (1978) – *Metamorphism and metamorphic belts*. George Allen & Unwin Ed., London, 492.
- PEREIRA, I., DIAS, R., BENTO DOS SANTOS, T., & MATA, J. (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*, vol. 174 (6): 1004–1018.
- SILVA, A.F., & RIBEIRO, M.L. (1991) – *Notícia Explicativa da folha 15-A*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal, 52.
- SILVA, A.F., & RIBEIRO, M.L. (1994) – *Notícia Explicativa da folha 15-B*. Lisboa: Instituto Geológico e Mineiro, 48.
- SILVA, A.F., SANTOS, A.J., RIBEIRO, A., & RIBEIRO, M.L. (1990) – *Carta Geológica de Portugal na escala 1/50.000 – folha 15-A*. Lisboa: Serv. Geol. Portugal 1 map.

Petrologia dos encraves da erupção vulcânica de Bakrite (Marrocos): contributo para o conhecimento da estrutura da crosta e do manto no Médio Atlas

Petrology of the enclaves of the volcanic eruption of Bakrite (Morocco): contribution to the knowledge of the structure of the crust and mantle in the Middle Atlas

Crispim, L.D.¹, Santos, T.A.C.¹, Bernardo, F.R.T.¹, Lopes, F.A.V.¹, Bento dos Santos, T.^{1,2},
Ntarmouchant, A.³, Driouch, Y.³, Dahire, M.³, Smaili, H.³, Carvalho, M.R.^{1,2}

¹DG-FCUL - Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

²Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-016, Lisboa, Portugal

³LGRN – Laboratoire de Géodynamique et de Ressources Naturelles, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah – Faculté des Sciences – Dhar El Mehraz – Fès, Morocco

Resumo: A região de Bakrite, inserida no Médio Atlas (Norte de Marrocos), é caracterizada pela existência de uma excepcional erupção vulcânica do Quaternário que transportou para a superfície abundantes encraves do soco subjacente, permitindo a sua observação direta e estudo. Com recurso a petrografia e química mineral verificou-se que os encraves são rochas máficas e ultramáficas, granitos, granulitos e metapelitos, os quais podem ser correlacionados com a estrutura interna da crosta e manto superior por debaixo do Médio Atlas. A crosta superior é composta essencialmente por granitos e metapelitos, a crosta inferior por gabros, dioritos e granulitos e o manto superior é representado por wehrlitos. Tal informação é relevante, porque corresponde a uma melhor caracterização da natureza do soco cristalino por debaixo das rochas sedimentares, essencialmente jurássicas, que constituem as unidades aflorantes.

Recorrendo aos softwares THERMOCALC e QUILF, nas amostras de granulito e wehrlito, foi possível estimar a temperatura mais provável da intrusão magmática (~ 1400 °C) e uma profundidade mínima de ~ 80 km – a profundidade original dos encraves de wehrlito. Atendendo à dimensão máxima dos wherlitos e sua densidade, foi possível, através da Lei de Stokes, estimar a velocidade mínima a que a intrusão magmática terá ascendido durante a erupção (~ 3.5 km/h).

Palavras-chave: *Moroccan Hot Line*, Médio Atlas, vulcanismo Cenozóico, encraves, wehrlito.

Abstract: The region of Bakrite, located in the Middle Atlas (North of Morocco), is characterized by the existence of an exceptional Quaternary volcanic eruption that transported to the surface abundant basement enclaves, allowing for its direct observation and study. With the help of petrography and mineral chemistry, the enclaves were confirmed as being mafic and ultramafic rocks, granites, granulites and metapelites, which can be correlated to the internal structure of the crust and upper mantle beneath the Middle Atlas. Thus, the upper crust is composed essentially of granites and metapelites, the lower crust of gabbros, diorites and granulites, and the upper mantle of wehrlites. Such information is relevant, because it corresponds to a better characterization concerning the nature of the crystalline basement beneath the sedimentary rocks, mostly Jurassic, that constitute the outcropping units.

Using THERMOCALC and QUILF in the granulite and wehrlite samples, it was possible to estimate the most likely temperature for the intrusion (~ 1400 °C) and a minimum depth of ~ 80 km – the original depth of the wehrlite enclaves. Given the maximum dimension and density of the wehrlites, it was possible, using Stokes' Law, to estimate the minimum speed at which the magmatic intrusion ascended (~ 3.5 km/h).

Keywords: *Moroccan Hot Line*, Middle Atlas, Cenozoic volcanism, enclaves, wehrlite.

INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A geologia de Marrocos é complexa, incluindo rochas de eventos orogénicos que se estendem desde o Arcaico ao Cenozóico. A região de Bakrite localiza-se no Médio Atlas, uma importante cadeia orogénica composta essencialmente por rocha carbonatadas de idade jurássica que terá sofrido os principais eventos de soerguimento durante o Miocénico (Lamotte et al., 2008) (Fig. 1).

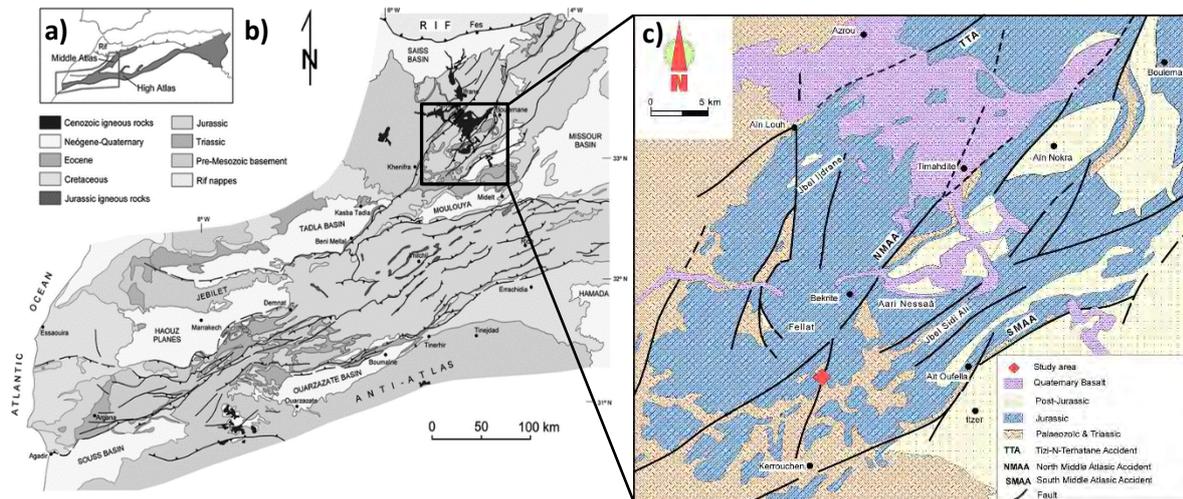


Fig. 3 - Enquadramento geológico da área em estudo: a) O Médio Atlas, no norte de Marrocos; b) O sistema orogénico do Médio Atlas e as erupções vulcânicas cenozoicas (modificado a partir de Tésou, et al., 2010); c) Mapa geológico da região de Bakrite, modificado a partir de Hollard et al. (1985).

O vulcanismo recente no Médio Atlas encontra-se na denominada *Moroccan Hot Line*, de direção SW-NE, um alinhamento de ocorrências vulcânicas e de águas termais que se encontra localizado numa porção de litosfera anormalmente adelgada, com ~70 km de espessura no Médio Atlas (Zeyen et al., 2005). Datada do Quaternário, mais precisamente do Plistocénico, entre os 0.5 e os 0.6 Ma (Idris et al., 2017), verifica-se a ocorrência de uma singular erupção vulcânica, a qual proporcionou a ascensão de encraves ígneos e metamórficos de alto grau, bem preservados, no seio de uma matriz da rocha vulcânica (basáltica). Estes encraves, de óbvio aspeto distinto relativamente às rochas encaixantes em Bakrite, são representativos das unidades litológicas subjacentes à cordilheira do Médio Atlas, mais concretamente, pela sua natureza, da estrutura da crosta e do manto superior. São, portanto, de elevada importância, pois permitem uma caracterização inédita da estrutura profunda subjacente ao Médio Atlas, dos fenómenos vulcânicos durante a ascensão e do pirometamorfismo que afetou os encraves.

DESCRIÇÃO LITOLÓGICA E PETROGRAFIA

A análise petrográfica dos 45 encraves colhidos permitiu o reconhecimento de diversas litologias: rocha ultramáfica (wehrlito com clinopiroxena, olivina e apatite), gabros e dioritos (piroxena, plagioclase, anfíbola, granada, biotite e quartzo), granulitos (orto- e clinopiroxena, plagioclase, quartzo, espinela e titano-magnetite), granitos (feldspatos, quartzo, biotite e rara turmalina), metatexitos (biotite, quartzo, feldspato K, plagioclase, sillimanite, granada, ortopiroxena e espinela) e diatexitos (feldspato K, plagioclase, sillimanite, granada, espinela e rútilo) (Fig. 2).

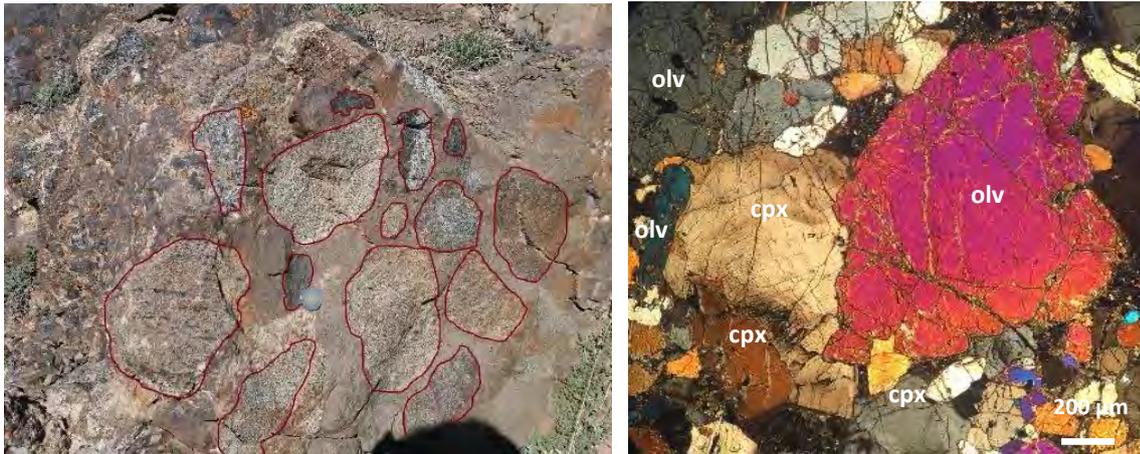


Fig. 2 – a) Aglomerado de encraves no seio da matriz vulcânica; b) Detalhe micropetrográfico de um dos encraves de wehrlito (cpx – clinopiroxena; olv – olivina).

QUÍMICA MINERAL E GEOTERMOBAROMETRIA

De uma forma sintética, as espinelas dos diatexitos são ricas em Al^{3+} , correspondendo a hercinites, enquanto nos granulitos correspondem a picotites ferríferas ou a titano-magnetites. As espinelas dos wehrlitos localizam-se na série magnetite – ulvospinela, sendo mais ricas em Fe^{3+} que Ti^{4+} . As piroxenas dos granulitos correspondem a enstantite ($X_{En} = 0.51-0.55$; $X_{Wo} < 0.06$) e a diópsido ($X_{En} = 0.31-0.35$; $X_{Wo} = 0.48-0.52$) consoante o granulito é félsico ou máfico, respectivamente. As granadas dos diatexitos e metatexitos apresentam $X_{Alm} = 0.51-0.57$ e $X_{Py} = 0.31-0.46$. A olivina dos wehrlitos apresenta $X_{Fo} = 0.82-0.88$ e $NiO = 0.1-0.3$ wt%, enquanto a clinopiroxena em equilíbrio é um diópsido quase puro ($X_{Fsl} < 0.09$).

Com recurso ao *software* THERMOCALC e à paragénesis de pico metamórfico dos diatexitos, foi possível estimar as condições de pirometamorfismo em $T = 1400 \pm 100$ °C e $P = 6.3 \pm 1.9$ kbar. Para os wehrlitos, o recurso ao *software* QUILF e às composições de olivina e clinopiroxena em equilíbrio, permite definir um intervalo de variação das condições de equilíbrio P-T inserido numa reta de equação P (kbar) = $0.0697 \cdot T$ (°C) – 70.344 (Fig. 3).

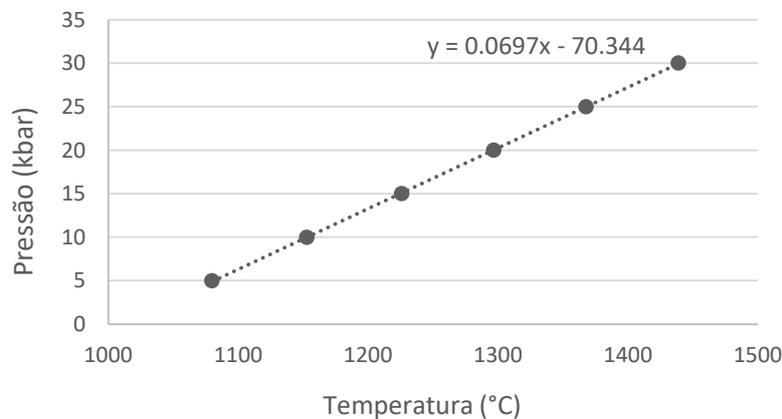


Fig. 3 - Modelação das condições P-T para o wehrlito com base no equilíbrio olivina-clinopiroxena.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os encraves da erupção vulcânica de Bakrite refletem a natureza da estrutura interna da crosta e manto superior subjacente ao Médio Atlas, sendo possível encontrar *grasso modo* associações litológicas da crosta superior (granitos e metapelitos – metatexitos e diatexitos), crosta inferior (gabros, dioritos e granulitos) e manto superior (wehrlito) (Fig. 4). A observação de que o manto litosférico por debaixo do Médio Atlas é de natureza wehrlítica, implica a ocorrência de processos geológicos incomuns para o manto litosférico na região de Marrocos.

A existência de ortopiroxena e hercinite nos metapelitos implica que o pirometamorfismo causado pela erupção vulcânica nos encraves foi suficiente para causar fenómenos de metamorfismo UHT (*Ultra-High Temperature*) com $T > 1200$ °C. De facto, as condições estimadas em $T \sim 1400$ °C e $P \sim 6.3$ kbar, reflectem a natureza do fenómeno pirometamórfico em rochas localizadas na crosta média, pelo que se pode considerar $T = 1400$ °C como a temperatura aproximada da erupção vulcânica. Desta forma, substituindo-se $T = 1400$ °C na equação da reta obtida anteriormente (Fig. 3), é possível determinar que a pressão mínima a que o wehrlito se encontrava era de 27.2 kbar (~ 80 km de profundidade). Este constrangimento de profundidade é também um valor mínimo para a profundidade de geração do magma.

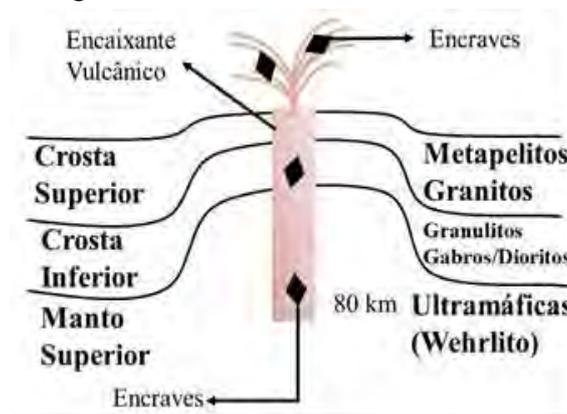


Fig. 4 - Esquema ilustrativo da litologia da litosfera do Médio Atlas, bem como do fenómeno de extrusão dos encraves encontrados em Bakrite.

Relativamente à velocidade mínima de ascensão do magma aquando da erupção, uma vez que esta corresponde à velocidade de afundimento do enclave de wehrlito, e com recurso à Lei de Stokes, o valor obtido é de 0.96 m/s (~ 3.5 km/h). Conclui-se, assim, que o magma demorou cerca de 23 horas a ascender desde os 80 km de profundidade até à superfície.

Bibliografia

- Hollard, H., Choubert, G., Bronner, G., Marchand, J., Sougy, J. (1985) - Carte géologique du Maroc à 1:1.000.000 – *Serv. Carte Géol. Maroc*, 260.
- Idris, A.A.B.S., Hidas, K., Garrido, C., Alpiste, M., (2017) - Crustal xenoliths of the Middle Atlas Volcanic Field. *10ème édition du colloque International: Magmatisme, Métamorphisme et Minéralisations Associées*, 3-3.
- Lamotte, D.F., Zizi, M., Missenard, Y., Hafid, M., El Azzouzi, M., Maury, R. C., Charrière, A., Taki, Z., Benammi, M., Michard, A. (2008) – The Atlas System. In: Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Lamotte, D. F. (eds.) – *Continental Evolution: The Geology of Morocco – Structure, Stratigraphy and Tectonics of the Africa-Atlantic- Mediterranean Triple Junction*. Springer, 133-202.
- Téson, E., Teixell, A., (2010) - Intraplate tectonics: insights from mountain building in the Moroccan Atlas and related subsidence in the Ouarzazate foreland basin. *Trabajos de Geología*, 30, 266-272.
- Zeyen H., Ayarza P., Fernandez M., Rimi A., (2005) - Lithospheric structure under the western African-European plate boundary: A transect across the Atlas Mountains and the Gulf of Cadiz. *Tectonics*, 24, 1-16.

Interpretação dos dados Gravimétricos para a região mineira de Neves-Corvo (Faixa Piritosa Ibérica)

Interpretation of Gravity data of the Neves-Corvo mine (Iberian Pyrite Belt)

F. Marques^{1*}, J. Carvalho², P. Sousa³, J. Matos¹, P. Represas², C. Inverno², N. Pacheco⁴, V. Araújo⁴, P. Gonçalves¹, L. Albardeiro¹, I. Morais¹

¹ Laboratório Nacional de Energia e Geologia, apartado 14, 7600-909 Aljustrel, Portugal

² Laboratório Nacional de Energia e Geologia, apartado 7586, 2721-866 Amadora, Portugal

³ Direção-Geral do Território, Av. Vasco da Gama 5, 7800-397 BEJA, Portugal

⁴ Somincor/Lundin Mining, Stª Bárbara dos Padrões, 7780-409 Castro Verde, Portugal

* fabio.marques@lneg.pt

Resumo: Este trabalho insere-se no domínio científico da geofísica aplicada e tem como objetivo contribuir para o conhecimento geológico da região do jazigo de Neves-Corvo. O jazigo constitui um dos principais centros mineiros da Faixa Piritosa Ibérica, considerada uma das maiores províncias metalogenéticas de sulfuretos maciços do mundo. No trabalho realizado foram utilizados os dados de anomalia de Bouguer. Pretende-se através do método gravimétrico, analisar e interpretar as anomalias da zona da mina, de modo a compreender a geometria e espessura das diversas formações geológicas e a estrutura da região em estudo.

Palavras-chave: Geofísica; Gravimetria; Neves-Corvo

Abstract: The goal of this work is to contribute to the geological knowledge of the Neves-Corvo deposit using gravity data. The Neves-Corvo deposit is one of the largest deposits of the Iberian Pyrite Belt (IPB), considered to be as one of the largest volcanogenic massive sulphide provinces in the world. In this work, we use the Bouguer anomaly values. The goal is to interpret the gravimetric anomalies in order to understand the geometry, thickness and structure of the Neves-Corvo region.

Key-words: Geophysics; Gravimetry; Neves-Corvo

INTRODUÇÃO

A mina de Neves-Corvo localiza-se na região SE da estrutura geológica Rosário – Neves-Corvo (Fig. 1), antiforma complexo, condicionado pela presença de planos de cavalgamento, bem visíveis em sondagens e em galerias mineiras (Oliveira et al., 2013). A geologia regional é caracterizada pela presença de grandes extensões de afloramentos de xistos e grauvaques da Formação de Mértola (Viseano superior), do Grupo Flysch do Baixo Alentejo, com espessuras superiores a 700 m nas regiões NE e SO de Neves-Corvo (Inverno et al., 2015). O Complexo Vulcano-Sedimentar da Faixa Piritosa (CVS), que lhe é estratigraficamente subjacente, engloba duas sequências (Oliveira et al., 2004; Pereira et al., 2008; Oliveira et al., 2013): o CVS Inferior, que compreende, da base para o topo, a Formação do Corvo de idade Fameniano, a Formação de Neves de idade Estruniano, rochas vulcânicas básicas e ácidas e mineralizações de sulfuretos maciços e o CVS Superior, que compreende, da base para o topo, as formações da Graça, Grandaços, Borra de Vinho, Godinho e Brancanes, de idade Viseano médio a superior. Na base da sequência estratigráfica está a Formação

Filito-Quartzítica (PQ), de idade Givetiano a Estruniano, constituída por xistos e quartzitos (Oliveira et al. 2004; Pereira et al., 2008; Oliveira et al., 2013; Inverno et al., 2015).

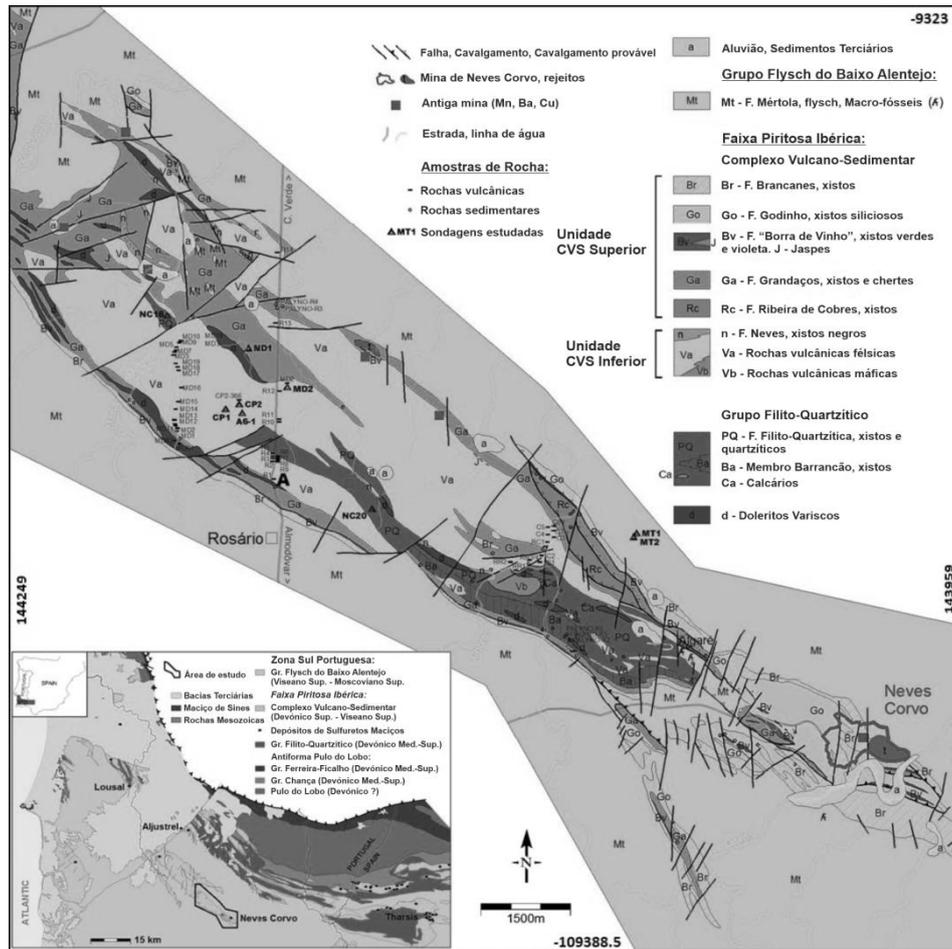


Figura 4 - Enquadramento geológico da região setentrional da mina de Neves – Corvo (adaptado de: Oliveira et al., 2013).

PRINCIPAIS ASPECTOS DA CARTA DA ANOMALIA GRAVIMÉTRICA RESIDUAL

A carta da anomalia residual (Figura 2), obteve-se tendo como base os dados provenientes da anomalia de Bouguer. Esta é essencial para cartografar as estruturas geológicas visadas como as massas minerais e falhas, permitindo uma aproximação à forma destas estruturas através da sua projeção horizontal. Comparando a carta da anomalia gravimétrica residual, com as cartas geológicas de Portugal, Folha 46-C (Almodôvar) e Folha 7, procedeu-se à identificação de várias anomalias gravimétricas e à sua correlação com as estruturas geológicas. Um dos destaques na carta da anomalia residual, situa-se na extremidade NE, onde se verifica o máximo positivo de 4.1 mGal. Trata-se de uma anomalia positiva com gradiente crescente para NE, sendo esta interpretada como resultado dos mantos de carreamento Galé-Cela e Mértola, constituídos pelas litologias das Formações Filito-Quartzítica e do Complexo Vulcano-Sedimentar, que se sobrepõem à geologia autóctone, constituída pelas litologias em afloramento da Formação de Mértola (A). O máximo

negativo na carta é de -2.3 mGal e situa-se a

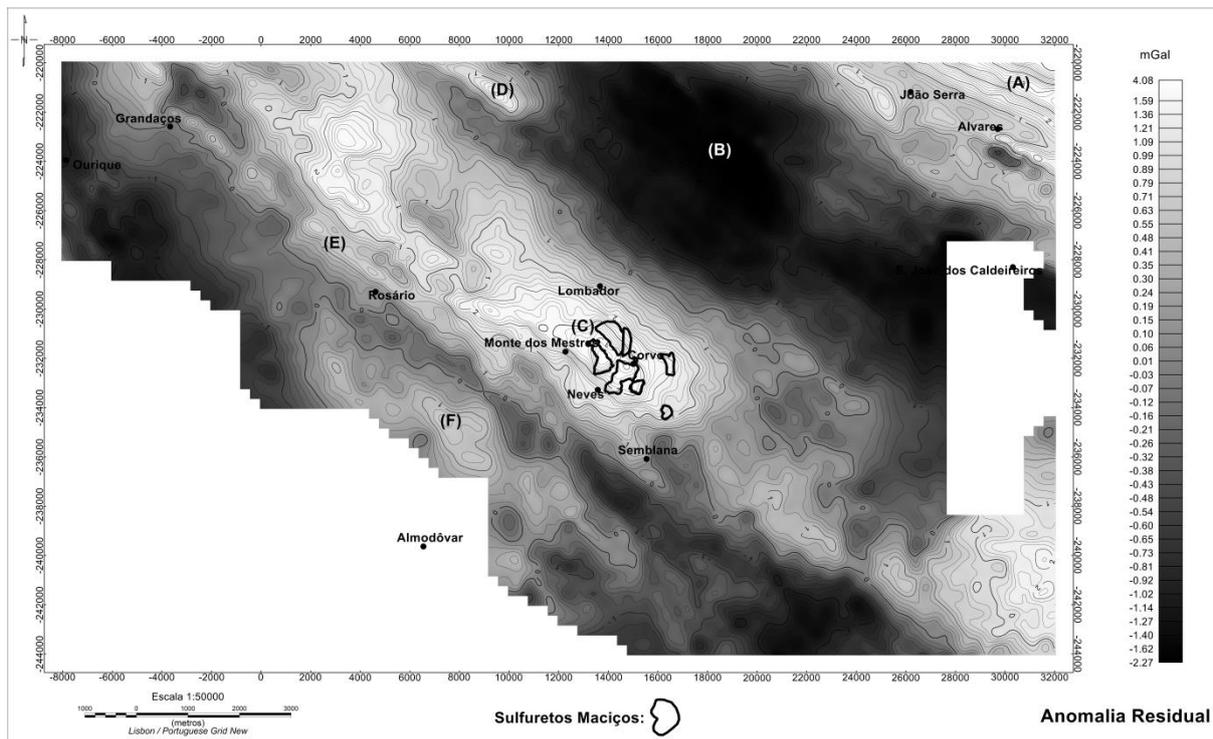


Figura 5 - Carta da anomalia gravimétrica residual, para a região da mina de Neves-Corvo.

NE do antiforma de Rosário – Neves-Corvo. É interpretado como uma depressão estrutural provocada pela grande espessura de sedimentos em comparação com as rochas vulcânicas adjacentes. Esta anomalia negativa, alongada, aparenta apresentar continuação para SE (B). Na carta observa-se também a anomalia positiva de orientação NO-SE provocada pelo antiforma Rosário – Neves-Corvo e sulfuretos maciços. Atinge o valor de 3.3 mgal. Na sua extremidade NO, a anomalia passa a orientar-se E-O, existindo um claro alinhamento das isoanómalas evidenciando a presença de uma falha com movimento esquerdo (C). Um dos aspetos também evidente são as várias anomalias positivas, alongadas, de orientação NO-SE, geradas pelas estruturas do Complexo Vulcano-Sedimentar. Assim destacam-se: *i*) o eixo gravimétrico São Pedro das Cabeças – Castro Verde. Trata-se de uma anomalia positiva, com a forma de elipse, tendo o eixo maior a orientação N47ºO. Correlacionando a anomalia com a carta geológica de Portugal (Folha 46-C Almodôvar), constata-se, que é condicionada por uma falha de orientação E-O na sua extremidade noroeste, evidenciando a anomalia uma curvatura para oeste (D). *ii*) O eixo gravimétrico Rosário – Grandadoços, com prolongamento para SE. É uma estrutura contínua com uma forma muito alongada de orientação N39ºO. É interpretada como sendo provocada pelo contraste de densidades entre as rochas básicas e os sedimentos da Formação de Grandadoços, assim como do seu contato com as rochas ácidas. É também o resultado do contraste de densidades entre o flanco SO do antiforma Rosário – Neves-Corvo constituído pelas litologias do Complexo Vulcano Sedimentar com as litologias da Formação de Mértola. O prolongamento para SE deste eixo gravimétrico é interpretado como o resultado do

contraste de densidades provocado pelo contacto entre as diferentes unidades litológicas, devido a um corredor estrutural (Zorra?), de orientação NO-SE que se encontra bem expresso em sondagens, sendo esta anomalia também influenciada por este cavalgamento (E). Outro aspeto evidente na carta da anomalia residual é a existência de um possível antifforma localizado a SE da complexa estrutura Rosário – Neves-Corvo, apesar de menor dimensão (F). Por fim observa-se os alinhamentos das isoanómalas provocados pela quebra destas e pelo estrangulamento das anomalias, são interpretados como falhas N-S a NE-SO que compartimentam as estruturas geológicas principais de orientação NO-SE.

CONCLUSÃO

Destaca-se na carta da anomalia gravimétrica residual a tendência observada na Faixa Piritosa Ibérica, antifformas alternados por sinformas limitados por cavalgamentos e carreamentos de orientação NO-SE com vergência para SO. Resultado da compressão ocorrida durante a orogenia Varisca estas estruturas geológicas, são posteriormente afetadas por falhas tardi-variscas com a orientação N-S a NE-SO que compartimentam as estruturas primárias. No âmbito da prospeção mineira, as informações extraídas da carta da anomalia residual permitiram identificar vários aspetos geológicos de interesse, nomeadamente a localização e profundidade do Complexo Vulcano Sedimentar, contribuindo assim, com novas áreas de prospeção para esta região. Caraterizando a anomalia de Neves-Corvo, alvo comprovado de existência de mineralizações, observa-se no campo gravítico residual, a anomalia com grande dimensão e amplitude de 2 mGal. Sendo esta, o resultado do contraste de densidades entre as massas de sulfuretos maciços e seu encaixante, assim como do antifforma Rosário – Neves-Corvo. Como trabalho futuro está previsto realizar-se para esta área, modelação gravimétrica 3-D de modo a constranger o modelo geológico elaborado a partir da interpretação de perfis sísmicos, perfis eletromagnéticos, sondagem mecânicas e cortes geológicos.

Agradecimentos

Agradece-se ao projeto EXPLORA, operação ALT20-03-0145-FEDER-000025, cofinanciado pelo Alentejo 2020, Portugal 2020 e União Europeia, através do FEDER.

Bibliografia

- INVERNO, C., ROSA, C., MATOS, J., CARVALHO, J. M., CASTELLO-BRANCO, BATISTA, M.J., GRANADO, I., OLIVEIRA, J. T., ARAÚJO, V., PEREIRA, Z., REPRESAS, P., SOLÁ, A. R. & SOUSA, P. (2015) – Modelling of the Neves Corvo Area. In Weihed, P. (ed), *3D, 4D and Predictive Modelling of Major Mineral Belts in Europe*, Springer, chapt. 11: 231-261.
- OLIVEIRA J., PEREIRA Z., CARVALHO P., PACHECO N., KORN D. (2004) – Stratigraphy of the tectonically imbricated lithological succession of the Neves-Corvo mine area, IPB, Portugal. *Mineralium Deposita*, vol. 39: 422-436.
- OLIVEIRA, J.T., ROSA, C., ROSA, D., PEREIRA, Z., MATOS, J. X., INVERNO, C., ANDERSON, T. (2013) – Geology of the Neves-Corvo antifform, Iberian Pyrite Belt, Portugal: New insights from physical volcanology, palynostratigraphy and isotope geochronology studies. *Mineralium Deposita*, vol. 48: 749-766.
- 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 Geológicas do INETI*, vol. 34: 181.

Cyclicity in an overall regressive trend – an integrated approach to a Late Jurassic shallow marine succession North of São Martinho do Porto (Lusitanian Basin)

Ciclicidade numa sequência regressiva - uma abordagem integrada a uma sucessão marinha rasa do Jurássico Superior a Norte de São Martinho do Porto (Bacia Lusitânica)

D. Barros^{1*}, M. Zimmerman², J. Magalhães^{3,4}, N. Pimentel^{1,3}

¹ DG-FCUL - Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal

² UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Brasil

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

⁴ UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Brasil

* diogo2096@hotmail.com

Abstract: This work addresses the depositional palaeoenvironment and the sequence stratigraphy of an Upper Jurassic succession outcropping at Gralha Beach, located North of São Martinho do Porto bay. The most abundant lithofacies are claystones and siltstones, followed by sandstones, palaeosols, wackestones, and marls. Calcimetry, X-Ray diffraction, fossil content and facies analyses suggest that the whole interval was deposited in a low-energy, shallow marine environment. Carbonate and marine fossils are abundant at the lower portion, whereas oxidized claystone/siltstone and palaeosols prevail towards the top. The integration of all available data allowed the identification of multiple different order sequences, indicating an upward overall regressive pattern.

Key-words: Lusitanian Basin; Upper Jurassic; Shallow marine; Cyclicity

Resumo: Este trabalho aborda o paleoambiente deposicional e a estratigrafia sequencial da sucessão sedimentar aflorante na Praia da Gralha (a Norte da baía de São Martinho do Porto). As litofácies predominantes são argilitos/siltitos, seguidos de arenitos, paleossolos, margas e wackestones. A análise de fácies, conteúdo fossilífero, calcimetria e difração de Raio-X sugerem que os sedimentos foram depositados em ambiente marinho raso, com baixa energia. As rochas carbonatadas e fósseis marinhos são mais abundantes na zona inferior, enquanto os argilitos, siltitos oxidados e paleossolos prevalecem na zona superior. A integração dos dados permitiu identificar múltiplas sequências de diferente escala, indicando uma tendência geral regressiva em direção ao topo.

Palavras-chaves: Bacia Lusitânica; Jurássico Superior; Marinho raso; Ciclicidade

INTRODUCTION AND GEOLOGICAL SETTING

This work aims to interpret the depositional palaeoenvironment and stratigraphic sequences of the outcropping sedimentary succession at Gralha Beach, North of São Martinho do Porto in the Lusitanian Basin. This basin, located on the western Iberian margin, experienced four rifting phases and is related to the North Atlantic opening during the Mesozoic (Rasmussen *et al.*, 1998). The studied strata belong to the Alcobaça Formation, which is composed of alternating sandstones, marls, and limestones (Teixeira & Zbyszewski, 1968). This unit represents siliciclastic progradation during the third post-rift phase in this region (Bernardes, 1992; Kullberg, 2000).

METHODOLOGY

Sixty-four meters of sedimentary succession was logged at 1:40 vertical scale from outcrop. Facies were recognised based on lithology, sedimentary structures, fossil and ichnofossil content.

Gamma-ray spectral data was acquired every 20 cm. Thirty samples were analysed for Calcimetry, X-Ray diffraction, micropalaeontological content (Ostracoda, Foraminifera and Charophyta in number per sample; calcareous nanofossils in total number per microscope column) and petrography. Integration of data acquired from those different techniques is the main goal of this research.

RESULTS

Eleven different lithofacies were reconized and grouped into five lithofacies associations (Table 1). Shale and siltstone are the most abundant lithofacies, followed by sandstone, palaeosol, and carbonate lithofacies. The most common sedimentary structures include wave ripples, swaley/hummocky cross-stratification, planar to through cross-bedding, and horizontal lamination. Nanofossils, Bivalvia, Gastropoda, Charophyta, and Ostracoda are the most abundant fossils. Localized Foraminifera and Echinoderma are also present. *Thalassinoides* is frequent all over the studied interval, but *Ophiomorpha* (?) and *Rhizocorallium* (?) may also occur.

Table 1: Characteristic lithofacies associations at Gralha Beach.

Name	Facies	Description	Interpretation
Claystone and Siltstone	FsM/ FsD	Lateral extension between 30 and 40 meters, 10 to 200 cm thick, with lenticular tabular geometry, without fossils or ichnofossils.	Low energy deposits formed by mud deposition from suspension (Bridge, 2006). Some of them experienced oxidation under meteoric conditions.
Sandstone	Sh/Sw/Ss/St /Sm/Sf	Lateral extension between 5 and 40 meters, 10 to 200 cm thick, with lenticular tabular geometry, with rare bivalves but common <i>Thalassinoides</i> and <i>Ophiomorpha</i> (?) at the top.	Deposition under traction and wave influence in the lower flow regime. Sf facies was formed by slumps or overloading (Berra & Felletti, 2011).
Marl	Mrg	Lateral extension with 40 meters, 40 to 100 cm thick, with tabular geometry, with Bivalve and Gastropoda but without ichnofossils.	Low energy deposits formed by mud deposition from suspension (Boggs, 2014) and with micrite precipitation (Tucker & Wright, 2009).
Wackestone	Wck	Lateral extension between 40 and 50 meters, 10 to 60 cm thick, with tabular geometry, with Bivalvia and rare <i>Thalassinoides</i> .	Low energy deposit with mud matrix accumulation and preservation (Tucker & Wright, 2009).
Palaeosol	P	Lateral extension between 40 and 50 meters, 10 to 150 cm thick, with tabular and lenticular geometry, without fossils or ichnofossils.	Long-lived sub-aerial exposure and pedogenic transformation with carbonate nodules development (Retallack, 2001).

A vertical log with all data is presented in Figure 1. The interval between 0 and 30 meters shows the most significant occurrence of marl, wackestone, Charophyta, Ostracoda, and nanofossil. Foraminifera and Echinoderma only appear at the base, around 5 meters. About 70% of all the samples contain calcareous nanofossils (*Watznaueria*). Gamma-Ray values vary randomly between 20 and 184 cps, with no apparent relation with specific lithologies all over the interval.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The studied sedimentary succession exhibits eight high-frequency T-R sequences. Sequences are bounded by subaerial unconformity (SU) located at the top of palaeosols. From the bottom to the top, SU 1 to 9 bound sequences A to H. The strata underlain by the palaeosol and SU 1 are not accessible. Maximum flooding surface (MFS) is interpreted within wackestone because this is the more distal marine lithofacies of the interval. As MFS was only recognised in Sequences A, C, and D, they show both transgressive (TST) and regressive systems tracts (RST). The occurrence of TST is coherent with the higher abundance of Chlorite, carbonate and fossil content, and lower sand-shale ratio.

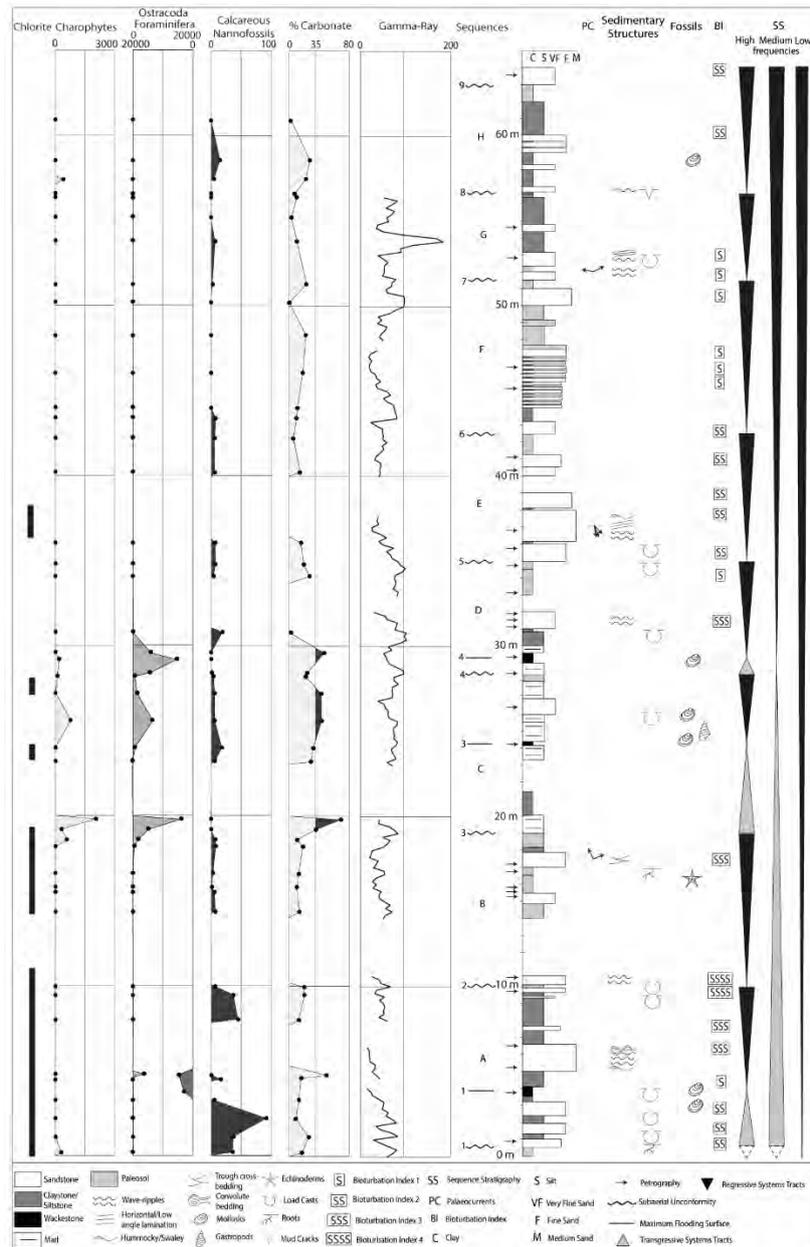


Figure 1: Vertically integrated log of Gralha Beach. Abbreviations: PC (palaeocurrents), Structures (sedimentary structures), BI (bioturbation index), SS (sequence stratigraphy).

Towards the top, SU 8 is marked on top of red claystone with desiccation cracks and no MFS was identified in Sequences E to H. Hence, only the RST is preserved. These sequences are characterized by reddish shale and siltstone, more frequent palaeosols, less amount of carbonate, rare nannofossils and bivalves, and lack of Chlorite. Probably, more frequent fluctuations of the relative sea-level triggered weathering and pedogenesis, which led to the dissolution of carbonate and the decrease in Chlorite content. The higher sand-shale ratio in the medium to upper portion of the succession suggests an increase of sand supply and is coherent with regression. Marl and wackestone are restricted to sequences A to D. In contrast, palaeosols and oxidized shales and siltstones prevail in sequences E to H. MFS 4 separates these two intervals with distinct characteristics: the highest fossil and carbonate content (below) from the predominance of oxidized

shale and siltstone and palaeosols (above). It can be concluded that the adequate initial condition for carbonate deposition changed through time. In other words, the depositional setting changed from 'carbonate-influenced' to 'siliciclastic-dominated', which are associated with medium frequency TST and RST, respectively. At low frequency, an overall upwards regressive trend is observed, as proposed by Bernardes (1992) for the Gralha Beach.

The predominance of fine-grained lithofacies (shale, siltstone) indicates deposition in a low-energy setting. The occurrence of sandstone with wave ripples and swaley/hummocky cross-stratification suggests wave and/or storm action. The presence of wave ripples, Nannofossils, and *Thalassinoides* all over the studied interval reinforces the interpretation of a shallow marine palaeodepositional environment. Nannofossil and Foraminifera are typical marine fossils. However, the concomitant existence of Ostracoda and Charophyta reveals proximal fine-grained sediment influx to the marine environment, probably related to a muddy coastal wetland area. The increase of the combined effect of weathering and pedogenesis may explain the substantial decrease of Chlorite, fossils, and carbonate content towards the top of the succession. More likely, such a combined effect is a response of high frequency fluctuation of relative sea-level during an overall upward regressive trend.

ACKNOWLEDGEMENTS

This manuscript is part of the first author ongoing MSc research program at the University of Lisbon. This research would not be possible without the support of Prof. Mário Cachão (DG-FCUL) and Dr. Luiz Carlos Veiga (Petrobras) (nannofossil identification), Prof. Maria Cristina Cabral (DG-FCUL) (Ostracoda identification), Dra. Mirian Menegazzo (Petrobras) (ichnofossils identification), Prof. Rui Pena dos Reis (Coimbra University) (portable spectral gamma-ray) and my colleagues Diana Brum da Silveira and Rúben Carlos for their helping hand with the preparation and sorting of some samples for micropaleontology.

REFERENCES

- BERNARDES, C. (1992). *A sedimentação durante o Jurássico Superior entre o Cabo Mondego e o Baleal (Bacia Lusitana): Modelos deposicionais e arquitectura sequencial*. Tese de Doutoramento, 261 pp., Univ. Aveiro.
- BERRA, F., & FELLETTI, F. (2011). Syn-depositional tectonics recorded by soft-sediment deformation and liquefaction structures (continental Lower Permian sediments, Southern Alps, Northern Italy): stratigraphic – significance. *Sedimentary Geology*, 235(3-4), 249-263.
- BOGGS Jr, S. (2014). *Principles of sedimentology and stratigraphy* 4ed. Pearson Education. 676p.
- BRIDGE, J.S. (2006). Fluvial facies models: recent developments. In: Posamentier, H., Walker, R.G. (Eds.), *Facies Models Revisited. SEPM (Society for Sedimentary Geology) Special Publication 84*, pp. 85–170.
- KULLBERG, J.C. (2000) – *Evolução tectónica mesozóica da Bacia Lusitaniana*. Tese de Doutoramento, 280 pp. Universidade Nova de Lisboa.
- RASMUSSEN, E. S., LOMHOLT, S., ANDERSEN, C. & VEJBAEK, O. V. (1998) - Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal. *Tectonophysics*, vol. 300(1-4): 199-225.
- RETALLACK, G. J. (2001). *Soils of the past: an introduction to paleopedology*. John Wiley & Sons.
- TEIXEIRA, C. & ZBYSEWSKI, G. (1968) - Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000. *Notícia explicativa da folha 23-C Leiria*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, Portugal
- TUCKER, M. E., & Wright, V. P. (2009). *Carbonate sedimentology*. John Wiley & Sons.

Resultados preliminares de uma experiência com traçador fluorescente (praia da Costinha - Aveiro, Portugal)

SandTrack project –P preliminary results of a fluorescent tracer experiment (Costinha beach - Aveiro, Portugal)

D. Rato¹ *, J. Cascalho², R. Taborda², P. Silva³, S. Romão^{2,3}, A. Silva², C. Lira²

¹ Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, Bloco C6 3 piso, 1749-016 Lisboa

² Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Bloco C1, 1749-016 Lisboa

³ Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro

* danielaterato@hotmail.com

Resumo:

No âmbito do projecto SandTrack, realizou-se uma campanha de traçadores sedimentares na praia da Costinha (Costa Nova, Aveiro). A campanha consistiu na colocação de cerca de 500 kg de areia marcada com tinta fluorescente verde na praia emersa, seguida da amostragem ao longo de perfis perpendiculares à linha de costa, em sucessivos períodos de baixa-mar. Este trabalho descreve os resultados da dispersão de traçador ao fim de um ciclo de maré na camada mais superficial de areia (primeiros 5 cm). Os resultados mostram que o traçador foi transportado para sotamar do ponto de colocação após o primeiro ciclo de maré. As amostras que revelam maior quantidade de traçador situam-se entre os 25 e 100 m a sul do ponto de colocação. Estas amostras revelam conter uma quantidade de partículas fluorescentes igual ou superior a 30 por 100 g de amostra e os resultados são compatíveis com o padrão de correntes medido na praia durante o primeiro ciclo de maré.

Palavras-chave: Traçador fluorescente, Transporte sedimentar, Análise de imagem

Abstract:

As part of the SandTrack project, a sedimentary tracers' campaign was carried out at Costinha beach (Costa Nova, Aveiro). The works consisted of placing about 500 kg of green fluorescent-marked sand on the emerged beach, followed by sampling along cross-shore profiles on the successive low tide periods. This paper describes the results of the tracer dispersion at the end of a tidal cycle in the most superficial layer of sand (first 5 cm). Results show that the tracer was transported downdrift of the initial point after the first tidal cycle. The samples showing the greatest amount of tracer are between 25 and 100 m south of the placement point. These samples are found to contain 30 or more fluorescent particles per 100 g of sample and the results are compatible with the current pattern measured at the beach during the first tidal cycle.

Key-words: Fluorescent Tracer, Sedimentary transport, Image analysis

INTRODUÇÃO

Compreender a deriva litoral é um elemento essencial na avaliação da evolução da linha de costa e do balanço sedimentar costeiro. Apesar do grande desenvolvimento de técnicas de medição de transporte de sedimentos nos últimos anos, a utilização de traçadores ainda é um dos métodos mais eficazes disponíveis para avaliar este transporte.

O presente trabalho descreve os procedimentos e os primeiros resultados do transporte de uma massa de cerca de 500 kg de areia verde fluorescente (traçador) colocada na praia da Costinha (Costa Nova, Aveiro).

O conjunto de resultados analisados refere-se à camada mais superficial de areia (0 - 5 cm) das amostras recolhidas na primeira baixa-mar após a injeção do traçador na praia (Figura 1). Os resultados apresentam o padrão de distribuição do traçador fluorescente e é feita a comparação com os resultados obtidos de correntes longitudinais medidas *in situ*.

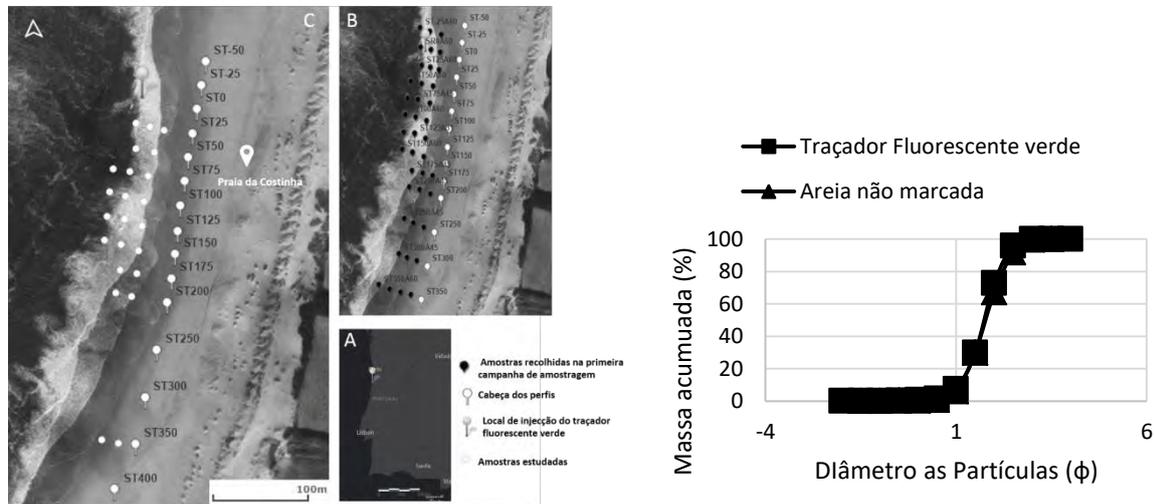


Figura 1 – Esquerda: A: Localização da área de estudo em relação a Portugal continental, B: Localização de todas as amostras recolhidas durante a primeira campanha de amostragem, C: Localização das amostras. Direita: – Curva granulométrica da areia não marcada e da areia marcada com tinta fluorescente verde.

MÉTODOS

Etapa 1 - Preparação do traçador

A primeira etapa do trabalho consistiu na marcação de 500 kg de areia, provenientes do depósito de dragados do porto de Aveiro, com tinta fluorescente verde. As análises texturais realizadas à areia marcada revelaram que a pintura não afectou significativamente as características texturais das areias, estando assim viável a sua utilização para a realização da campanha de injeção na praia emersa (Figura 1 - Direita **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).

Etapa 2 – Colocação e amostragem do traçador fluorescente verde

A segunda etapa consistiu na colocação e amostragem da areia marcada, durante a maré baixa, que decorreu entre os dias 8 e 12 de Julho de 2019 na praia da Costinha. O traçador foi colocado na praia emersa ao longo do perfil ST0 à cota 0 m (nmm - nível médio do mar) (Figura 1- Esquerda).

A amostragem do traçador foi realizada a partir da recolha de testemunhos verticais de sedimento da praia (com cerca de 20 cm de comprimento) em intervalos de 15 m, ao longo de perfis perpendiculares à linha de costa espaçados entre si 25 m.

No início da campanha foram também colocados equipamentos de medição de parâmetros hidrodinâmicos na zona *intertidal* ao nível médio do mar: um correntómetro electromagnético EM Infinity (a 20 cm acima da superfície) e dois transdutores de pressão Level Troll (ambos a 10 cm acima da superfície da areia).

Etapa 3 – Análise dos dados

Das 111 amostras recolhidas na primeira campanha de amostragem, neste trabalho serão apenas apresentados os resultados referentes ao primeiro nível de amostragem (0 a 5 cm), num total de 32.

Estas 32 amostras foram fotografadas com luz ultravioleta, com uma câmara fotográfica digital *Canon EOS 1200D* (5184 x 3456) posicionada 50 cm acima da amostra. A área de amostra fotografada tem uma dimensão de 20x14 cm² com a resolução de (5184 x 3456). De seguida, as fotografias foram analisadas usando uma rotina em MATLAB, disponível em <http://sandcode.rd.ciencias.ulisboa.pt/ImageAnalysis.html>, a partir da qual é possível detectar e quantificar os grãos marcados

Como as amostras apresentam diferentes pesos, optou-se por realizar uma normalização do número de partículas contadas para uma massa de amostra de 100 g (Tabela 1).

Tabela 1 – Lista das 23 amostras estudadas referentes ao primeiro nível de amostragem.

Amostra		Cota de cada amostra no perfil de praia (m – nmm)	Número de partículas (por 100 g de amostra)	Amostra		Cota de cada amostra no perfil de praia (m – nmm)	Número de partículas (por 100 g de amostra)
ST-25	A45	0.4	0	ST125	A30	0.9	4
ST0	A30	1.5	0		A45	0.2	5
	A45	0.8	0	A60	-0.3	6	
	A60	-0.1	0	ST150	A30	0.8	8
ST25	A30	1.5	12		A45	0.2	4
	A45	1.0	32		A60	-0.3	11
	A60	0.2	253	ST175	A30	0.6	4
ST50	A30	1.2	42		A45	0.1	1
	A45	0.3	41	ST200	A15	2.0	0
ST75	A30	1.1	13		A30	0.2	4
	A45	0.1	8		A45	-0.1	1
	A60	-0.4	27	ST300	A15	3.1	0
ST100	A30	1.0	5		A30	0.6	0
	A45	0.1	3	ST350	A15	2.9	1
	A60	-0.4	3		A30	2.3	2
			A45		0.1	0	
			A60		-0.3	0	

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao representar a variação espacial do número de grãos marcados dos primeiros 5 cm das amostras estudadas, observa-se uma deslocação do traçador para sul do ponto de injeção (Figura 2).

A amostra com maior número de grãos marcados (253 grãos marcados por 100 g de amostra) está localizada a 25 m para sul do local de injeção, verificando-se uma diminuição da quantidade de grãos marcadas para valores muito baixos (1 a 3 grãos marcados por 100 g de amostra) nos perfis situados a 200 m e 350 m do ponto de injeção (Tabela 1 e Figura 2). É de referir a ausência de traçador nas amostras recolhidas no perfil ST0, perfil correspondente ao local de colocação do traçador. Estes resultados estão em concordância com os valores das correntes medidas. De facto, durante este ciclo de maré, a corrente longitudinal foi dirigida para sul e registou valores médios na ordem dos 0.2 a 0.6 m/s, medidos em intervalos de 15min. Por sua vez a corrente transversal à praia foi dirigida para o largo, com velocidade de 0.1 m/s.

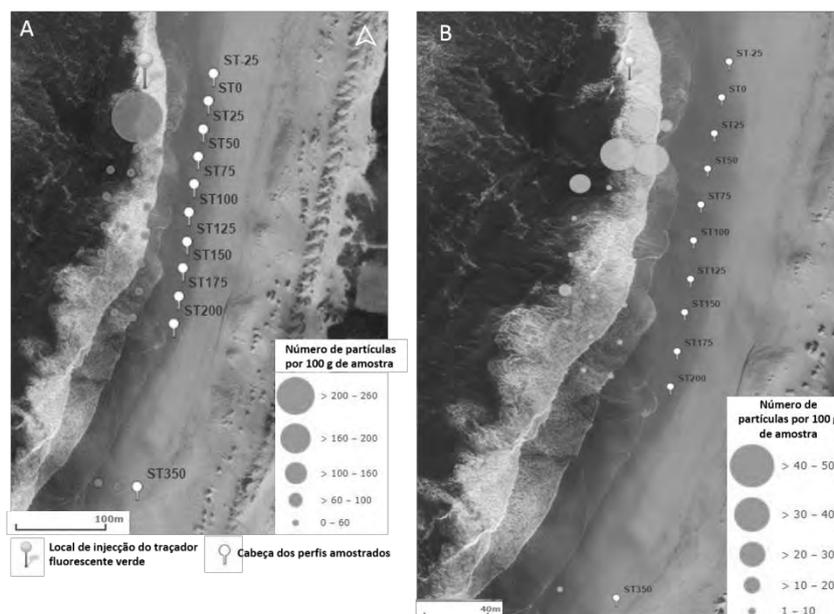


Figura 2 – A: Padrão de distribuição espacial do número de grãos marcados nas amostras recolhidas ao longo dos perfis de amostragem, B: Variação do padrão de distribuição espacial dos grãos marcados correspondentes considerando apenas as amostras com menos de 50 grãos marcados.

CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu verificar que após o primeiro ciclo de maré o traçador fluorescente colocado na face de praia foi transportado para sul do ponto de injeção.

A análise dos primeiros 5 cm de cada amostra revela que a maior quantidade de traçador, ao fim de um ciclo de maré, se localiza a 25 m do ponto de injeção. Por sua vez, as amostras recolhidas a 350 m do ponto de injeção (último perfil amostrado) apresentam quantidades muito reduzidas de grãos marcados. O padrão de distribuição do traçador mostra estar concordante com o sentido das correntes transversais e longitudinais observadas durante o primeiro ciclo de maré após a colocação do traçador.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho insere-se no projeto SANDTRACK (PTDC/CTA-GEO/31779/2017), financiado pelo FEDER através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e do Programa Operacional Regional de Lisboa, e por fundos nacionais (OE) através da FCT/MCTES. Agradece-se à Administração do Porto de Aveiro e ao projeto FCT/UID/GEO/50019/2019. S. Romão é financiada pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através de uma bolsa de doutoramento (SFRH/BD/129079/2017).

Indications and limitations of gama-ray spectrometry of Late Jurassic mixed facies, north of São Martinho do Porto (Lusitanian Basin)

Indicações e limitações da spectrometria de radiação gama de fácies mistas do Jurássico Superior, a norte de São Martinho do Porto (Bacia Lusitânica)

M. Zimmermann^{1*}, D. Barros², J. Magalhães^{3,4}, N. Pimentel^{2,3}

¹ UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Brasil

² DG-FCUL - Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal

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

⁴ UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Brasil

* mariliarzimmermann@gmail.com

Abstract: This work explores the application of gamma-ray spectrometry (GR) for outcrop identification of lithologies, interpretation of depositional trends, and sequence stratigraphic surfaces of Late Jurassic mixed facies that crops out in Gralha Beach, north of São Martinho do Porto. The gamma-ray spectrometer did not contribute to the discrimination of lithologies or the depositional paleoenvironment. Also, the stacking trends suggested by the equipment did not coincide with the interpreted lithologies from the vertical succession of facies, thereby not helping in the identification of depositional sequences. The findings of this study suggest that the interpretation of GR data should always be based on a local or regional calibration for the specific kind of facies and sequences which are being studied.

Key-words: Gamma-ray spectrometry; Sequence Stratigraphy; Mixed facies; Upper Jurassic

Resumo: Este trabalho explora a espectrometria de radiação gama aplicada em afloramentos, para a identificação de litologias, interpretação de padrões deposicionais e superfícies estratigráficas de sequências em fácies mistas aflorantes na Praia da Gralha, a norte de São Martinho do Porto. O espectrometro de radiação gama não contribuiu na discriminação das litologias ou do paleoambiente deposicional. Ademais, os padrões de empilhamento sugeridos pelo equipamento não coincidiram com as litologias interpretadas a partir da sucessão vertical de fácies, não auxiliando, portanto, na identificação das sequências deposicionais. Os resultados do estudo sugerem que a interpretação dos dados GR deve ser sempre baseada na calibração regional ou local dos tipos específicos de fácies e sequências que estão sendo estudados.

Palavras-chave: Espectrometria de radiação gama; Estratigrafia de Sequências; Praia da Gralha; Jurássico Superior

INTRODUCTION

Spectral gamma-ray (GR) log is a complementary tool in sequence stratigraphic analysis, widely used in oil industry wells for identification of key surfaces to constrain stratigraphic correlation between wells. In outcrops, GR is applied to columnar sections analogously to that used in the subsurface. The gamma spectrometer measures the radioactivity of the rock, emitted by its naturally radioactive elements: K, U, and Th (Davies and Elliott, 1996). This study explores the application of GR to outcrop in high-resolution stratigraphic identification of stacking patterns and key surfaces, as well as the identification of source rocks, and interpretation of the paleodepositional environment.

METHODOLOGY

An Upper Jurassic shallow marine succession, composed mainly by fine sandstones, clays and marls, has been studied at Gralha Beach, located at north of São Martinho do Porto (Barros et al., 2019). A total of 227 readings were carried out with a portable gamma-ray spectrometer equipment (Gamma-Ray Surveyor II 1024-Channel). Data acquisition was performed with a regular spacing of 20 cm over 60 meters, simultaneously with facies description in a vertical lithological column. Rock samples were collected and subjected to the LOI (Loss on Ignition) process to determine their percentage of OM (Organic matter) (Lia-Ping et al. 2013). Facies characteristics and OM were compared with GR to support the stratigraphic analysis.

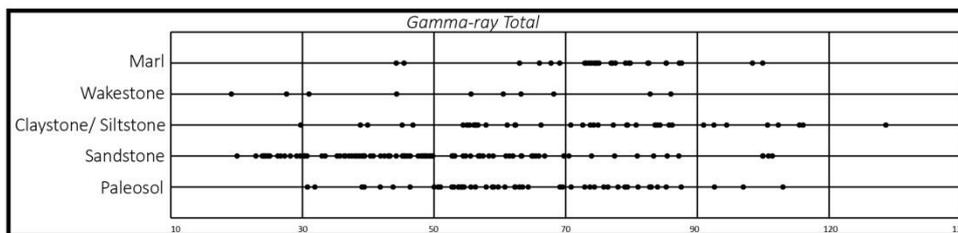
RESULTS

Evaluation of GR logs (total count, K, U, and Th values) and OM are based on Rider (1999), Myers and Wignall (1987), Davies and Elliot (1996), and Peters (1986) (Table 1) are interpreted in Figure 1. A scatter plot with total GR for each lithology is presented also in Table 1. A comparison between stacking patterns based on total count GR log (interpreted according to Kendall, 2003) and those from vertical facies log (regressive and transgressive trends following Catuneanu, 2006) is shown in Figure 1. The OM percentage data were added to the GR U log (Figure 1).

Table 1. Evaluation of GR logs and OM.

a. Th/U ratio and depositional environment (Reider, 1969).			b. Th/U ratio and origin of U (Myers and Wignall, 1987).	
Th/U	Depositional Environment		Th/U	Origin
<3	Marine		Th/U = 3	Detrital
3 – 6	-		Th/U < 3	Autigenic
> 6	Continental			
c. SIM and Paleosol indicators (Davies and Elliot, 1996).			d. Source rock classification parameters (Peters, 1986).	
	Parameter 1	Parameter 2	Quantity	OM (weight %)
MFS	U > 5 (ppm)	Th/U < 2,5	Poor	0 - 0.5
Paleosol	Th/K > 17	K < 4 (%)	Fair	0.5 - 1
			Good	1 - 2
			Very Good	> 2

e. Lithology versus GR total count values. Note the wide dispersion of GR values is common for all identified lithologies.



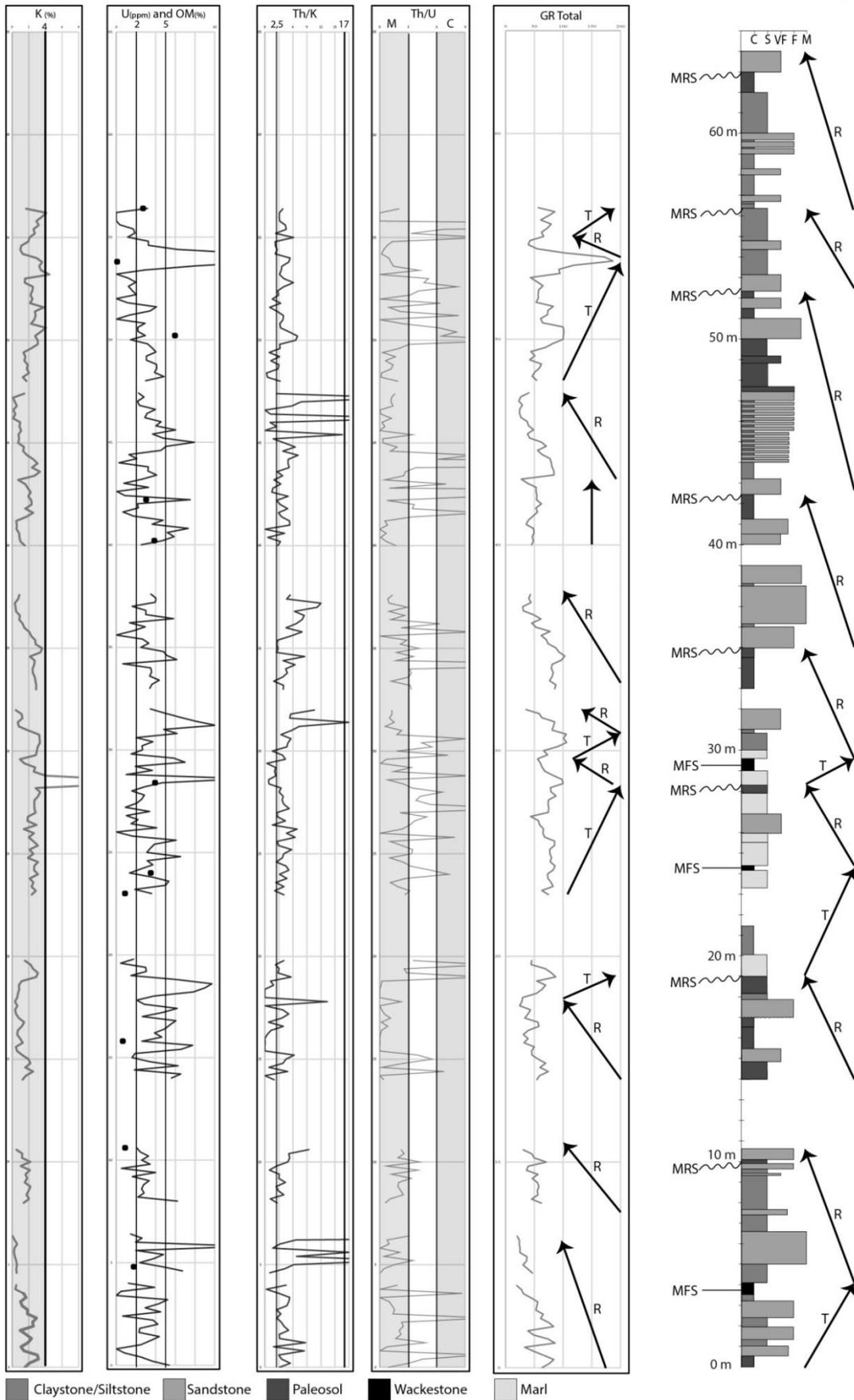


Figure 1: Integrated interpreted log of facies and depositional trends based on GR logs. Interpretation of GR logs (K, U, Th/K, and Th/U) and OM based on Table 1 values. Black dots in GR U log stands for OM values. Abbreviations: T – transgressive; R – regressive; MRS – maximum regressive surface; MFS – maximum flooding surfaces; M – marine; C – continental.

DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

The wide dispersion of Total GR log did not allow the identification of lithologies and stratal stacking patterns. The depositional trends suggested by GR log did not precisely coincide with the transgressive and regressive cycles interpreted from facies succession. The Th/U ratio was ambiguous since its value indicates marine and continental environments for the same facies along the vertical section. Moreover, strata that indicate marine and autogenous contribution of uranium sometimes lack large amounts of organic matter. Also, it was not possible to correlate the high uranium values with high amounts of organic matter and, therefore, the GR log did not assist in the identification of strata with source-rock potential. Maximum regressive and maximum flooding surfaces (MRS and MFS, respectively) based on Th/K and Th/U ratios are not as reliable compared with those interpreted by stacking pattern from facies log, and paleosols do not show the expected high values of Th/K. It can be concluded that direct and simple GR log analysis is not recommended to define lithology, stacking pattern, depositional environment, key sequence stratigraphic surfaces, and identification of potential source-rocks. Rather, this study demonstrated that it is highly recommended to perform GR data calibration with lithologies, vertical facies succession, and stratigraphic stacking patterns before performing such analysis.

ACKNOWLEDGEMENTS

We acknowledge Prof. Rui Pena dos Reis (Coimbra University) for the access to the portable GR spectrometer, crucial for this study.

References

- BARROS, D.; ZIMMERMAN, M.; MAGALHÃES, J.; PIMENTEL, N. (2019) - Cyclicality in an overall regressive trend – an integrated approach to a Late Jurassic shallow marine succession North of São Martinho do Porto (Lusitanian Basin). *IX Congresso Jovens Investigadores em Geociências*, LEG 2019 Estremoz, Livro de Actas.
- CATUNEANU, O. (2006). *Principles of sequence stratigraphy*. Elsevier.
- DAVIES, S. J., & ELLIOTT, T. (1996). Spectral gamma ray characterization of high resolution sequence stratigraphy: examples from Upper Carboniferous fluvio-deltaic systems, County Clare, Ireland. *Geological Society, London, Special Publications*, 104(1), 25-35.
- JIA-PING, W. A. N. G.; XIU-JUN.; ZHANG, JUAN (2013). Evaluating loss-on-ignition method for determinations of soil organic and inorganic carbon in arid soils of Northwestern China. *Pedosphere*, v. 23, n. 5, p. 593-599, 2013.
- MYERS, K. J., & WIGNALL, P. B. (1987). Understanding Jurassic organic-rich mudrocks—new concepts using gamma-ray spectrometry and palaeoecology: examples from the Kimmeridge Clay of Dorset and the Jet Rock of Yorkshire. In *Marine clastic sedimentology* (pp. 172-189). Springer, Dordrecht.
- PETERS, K. E. (1986). Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *AAPG bulletin*, 70(3), 318-329
- RIDER, M. H. (1986). The geological interpretation of well logs.

Estudo de paleocorrentes nos Complexos Toca da Moura e Cabrela (Zona de Ossa-Morena): implicações na morfologia da bacia de sedimentação mississípica

Paleocurrents from Toca da Moura and Cabrela Complexes (Ossa-Morena Zone): implications on Mississippian sedimentation basin morphology

J. Madrinha^{1*}, B. Silva¹, N. Moreira², G. Machado^{3,4}, I. Caralinda¹, D. Sousa¹, C. Neto de Carvalho^{4,5}, M. Cachão^{1,4}

¹ Universidade de Lisboa Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, Campo Grande, Ed. C6, 1749-016 Lisboa, Portugal

² Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora; Instituto de Ciências da Terra, Polo de Évora.

³ Chronosurveys Lda. Almada, Portugal.

⁴ Instituto Dom Luiz. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal.

⁵ Geopark Naturtejo Meseta Meridional. Centro Cultural Raiano. Avenida Joaquim Morão, 6060-101, Idanha-a-Nova, Portugal.

* joamadrinha@icloud.com

Resumo: Os Complexos vulcano-sedimentares de Toca da Moura e Cabrela (Mississípico) localizam-se ao longo do bordo SW da Zona de Ossa Morena, próximo do contacto com a Zona Sul Portuguesa. Os seus termos siliciclásticos preservam um conjunto de estruturas sedimentares (estratificações oblíquas, *slumps* e *flute-casts*) que permitem perceber os sentidos de transporte sedimentar (paleocorrente) aquando da deposição das sucessões flyshóides marinhas que caracterizam estes complexos. Visto tratarem-se de bacias com controlo estrutural, o auxílio de dados de cartografia estrutural de pormenor revelaram-se úteis na compreensão da morfologia e geometria da(s) bacia(s) de sedimentação carbónica. Dados de paleocorrentes permitiram enfatizar que o transporte se dá maioritariamente para o quadrante sul no Complexo de Cabrela, enquanto no Complexo da Toca da Moura o transporte é mais disperso, permitindo perceber a presença de acarreios de Sul para Norte na região do Torrão e para o quadrante Oeste na região de Corte Pereiro e Alcáçovas (VG Atalaia).

Palavras-chave: Paleocorrentes, Complexos de Toca da Moura e Cabrela, Mississípico

Abstract: The *Toca da Moura* and *Cabrela* volcano-sedimentary complexes (Mississippian) are located along the SW border of the Ossa Morena Zone, close to the contact with the South Portuguese Zone. Its siliciclastic terms preserve a set of sedimentary structures (oblique stratifications, *slumps* and *flute-casts*) that allow to understand the sedimentary transport (paleocurrents) during the deposition of these marine flysch successions. These complexes are deposited within structurally controlled basin(s) and the data obtained from detailed geological and structural mapping was useful to understand the morphology and geometry of the mississippian sedimentation. The integration of the obtained paleocurrent data allows to emphasize that the transport occurs to the south quadrant in the Cabrela Complex, while in the *Toca da Moura* Complex the transport is dispersed, allowing to identify the presence of transport from South to North in the *Torrão* region and to the west quadrant in the *Corte Pereiro* and *Alcáçovas* (VG *Atalaia*) regions.

Keywords: Paleocurrents, Toca da Moura and Cabrela complexes, Mississippian

INTRODUÇÃO

A caracterização da sedimentação nos Complexos Vulcano-Sedimentares de Toca da Moura e de Cabrela (CVSTMC) é essencial para a compreensão da transição entre os processos de subducção

ativos durante o Devónico e o início da colisão continental carbónica associados ao Orógeno Varisco (Moreira et al., 2014). A sedimentação carbónica apresenta, em todo o Maciço Ibérico, características típicas de sedimentação sin-tectónica e os CVSTMC não são exceção. Estes complexos vulcano-sedimentares são caracterizados por uma sucessão flyschóide, no qual se intercalam rochas vulcânicas de natureza bimodal e representam o que restou do preenchimento de bacia(s) sedimentar(es) formada(s) durante o Carbónico ao longo do bordo SW da Zona de Ossa-Morena (ZOM), perto do contacto com a Zona Sul Portuguesa. O principal objetivo deste trabalho é compreender a dinâmica de transporte sedimentar desta(s) bacia(s) sedimentar(es) formada(s) no Mississípico, tendo como base a interpretação das figuras sedimentares presentes nos termos siliciclásticos dos CVSTMC, com o auxílio de dados estruturais e de cartografia geológica de detalhe, tentando assim compreender a morfologia e dinâmica desta(s) bacia(s).

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A área de trabalho situa-se em Portugal Continental, distribuída pelos distritos de Setúbal, Évora e Beja. O trabalho de campo foi realizado em quatro sectores distintos: Sinclinal de Cabrela (Complexo Vulcano-Sedimentar de Cabrela), Corte Pereiro, Torrão e Alcáçovas (VG Atalaia) (Complexo Vulcano-Sedimentar de Toca da Moura). No presente trabalho foi alvo de estudo os CVSTMC que representa o que restou do preenchimento de bacias marinhas formadas ao longo do bordo SW da ZOM durante o Mississípico (Oliveira et al., 1991; Pereira et al., 2006; Moreira et al., 2014).

As rochas do Complexo da Toca da Moura são sobrepostas em discordância por rochas clásticas de idade Pennsilvânico continental da Bacia de Santa Susana (Oliveira et al., 1991; Machado et al., 2012; Lopes et al., 2014). O Complexo da Toca da Moura é composto por arenitos finos, pelitos cinzentos a negros e siltitos, com intercalações de rochas vulcânicas bimodais (Oliveira et al., 2013; Santos et al. 1987). Estas rochas vulcânicas intercaladas no Complexo Toca da Moura apresentam características geoquímicas compatíveis com o quimismo típico de um arco vulcânico (Santos et al., 1990).

Por sua vez, o Complexo de Cabrela aflora numa estrutura sinclinal (Oliveira et al., 1991; 2013). Este complexo assenta em discordância sobre as unidades basais, nomeadamente a Formação de Pedreira de Engenharia e Formação do Carvalhal (Ribeiro, 1983; Carvalhosa & Zbyzewski, 1994; Theias et al., 2018). Esta discordância é marcada por um nível conglomerático poligénico que inclui calhaus da Formação do Carvalhal já xistificados (Oliveira et al., 1991), seguindo-se uma sucessão litológica de natureza siliciclástica em tudo semelhante à previamente descrita para o Complexo da Toca da Moura composto por grauvaques, siltitos e pelitos cinzentos a negros, intercalados com tufos e tufitos ácidos (Oliveira et al., 1991; 2013).

Os miosporos dos CVSTMC indicam uma idade Tournaisiano terminal - Viseano médio (Pereira et al., 2006) para a sedimentação marinha, parecendo mostrar uma evolução geodinâmica conjunta.

PALEOCORRENTES E TRANSPORTE SEDIMENTAR

A abordagem ao estudo das paleocorrentes foi feita por áreas de trabalho seleccionadas ao longo do bordo SW da ZOM, apresentando-se seguidamente os dados separadamente para cada complexo vulcano-sedimentar.

- Complexo de Cabrela

Para o Complexo de Cabrela dispõem-se das medições efetuadas na Pedreira de Cabrela, Buraco e Corte de Estrada. O tratamento dos dados relativos a Pedreira de Cabrela e Corte de Estrada foi efetuado em conjunto dada a proximidade entre eles e a coerência dos dados obtidos. As medições efetuadas foram realizadas em laminações oblíquas e *slump*. Os dados projetados demonstram consistência entre si. Com o auxílio do Stereonet, foi calculado um vetor principal de transporte que nos indica a tendência principal das paleocorrentes para estas duas secções, mostrando um transporte geral para SSW. Em Buraco foram medidas duas estruturas sedimentares: um *slump* e uma *flute cast*. As duas medições são coerentes entre si e o cálculo do vetor principal para esta secção indica que o transporte dar-se-ia para o quadrante SE.

- Complexo da Toca da Moura

Para o Complexo da Toca da Moura dispõem-se de dados de Corte Pereiro, VG Atalaia e Torrão. Corte Pereiro é, de entre as três secções estudadas, o que fica localizado mais a Norte. Aqui, foi possível a medição de oito estruturas sedimentares que permitem a obtenção do sentido das paleocorrentes: sete medições de laminações oblíquas e um *slump*. A partir das oito medições, que apresentam elevada dispersão, efetuou-se o cálculo do vetor principal, indiciando um sentido médio do transporte para NNW. No VG Atalaia foram medidas um conjunto de quatro estruturas que permite a obtenção do sentido das paleocorrentes, sendo que três delas correspondem a medições de laminações oblíquas e uma *flute cast*. Nesta zona em particular, as medições obtidas indicam que o transporte é, de forma generalizada, para SW. Na secção do Torrão foram realizadas cinco medições de laminações oblíquas e obtidas cinco paleocorrentes. Dos locais estudados, foi aquele que apresentou menor dispersão dos sentidos de corrente, apresentando-se todas muito semelhantes. Procedendo do mesmo modo, foi feita a projeção dos valores de paleocorrentes obtidas e calculado o vetor principal que, para esta secção, nos indica que o sentido de transporte se dá grosso modo para o quadrante Norte.

MORFOLOGIA DA BACIA: CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que diz respeito ao Complexo de Cabrela, as paleocorrentes indicam-nos um transporte com direção SSW na Pedreira e SE no Buraco. Embora os resultados sejam pouco coerentes por falta de representatividade, os resultados parecem indicar grosso modo transporte para o quadrante S, com uma fonte sedimentar localizada a norte da bacia sedimentar. Para o Complexo de Toca da Moura,

de Norte para Sul, temos Corte Pereiro, onde se verificou que a direção principal do transporte seria para NNW, no VG Atalaia dar-se-ia para SW e em Torrão, o transporte seria para N. A análise destas três tendências principais sugere a existência duma depressão entre VG Atalaia e Torrão, esclarecendo sobre a geometria do depocentro desta bacia de sedimentação. Segundo estes dados, é seguro afirmar que entre VG Atalaia e Torrão teríamos uma depressão, visto que no VG Atalaia o transporte sedimentar se dá para SW enquanto em Torrão o transporte é para N. Deduz-se então que a bacia estaria restringida por uma massa continental a NE do VG Atalaia e outra a Sul de Torrão. Em Corte Pereiro os dados indicam-nos que o acarreio seria proveniente grosso modo do quadrante SE. Os dados de Corte Pereiro em conjunto com VG Atalaia permitem constranger um pouco melhor a morfologia da bacia, mostrando que esta estaria delimitada por uma massa continental a nordeste, partilhada por Corte Pereiro e VG Atalaia.

Agradecimentos

Este trabalho, realizado no âmbito da disciplina de projeto da Licenciatura em Geologia da FCUL, é um contributo para o projeto "Modelos metalogénicos 3D da zona de Ossa Morena: valorização dos recursos minerais do Alentejo" (ALT20-03-0145-FEDER-000028) cofinanciado pelo ALENTEJO 2020.

Bibliografia

- CARVALHOSA, A., ZBYZEWSKI, G. (1994) – Notícia Explicativa da folha 35-D (Montemor-o-Novo), 1:50.000. Serviços Geológicos de Portugal.
- LOPES, G.; PEREIRA, Z.; FERNANDES, P.; WICANDER, R.; MATOS, J. X.; ROSA, D. R. N.; OLIVEIRA, J. T. (2014) -The significance of reworked palynomorphs (middle Cambrian to Tournaisian) in the Visean Toca da Moura Complex (South Portugal). Implications for the geodynamic evolution of Ossa Morena Zone. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 200, 1–23
- MACHADO, G., SILVA, I.D., ALMEIDA, P. (2012) – Palynology, stratigraphy and geometry of the Pennsylvanian continental Santa Susana Basin (SW Portugal). *J. Iber. Geol.* 38, 429-448.
- MOREIRA, N., ARAÚJO, A., PEDRO, J., DIAS, R. (2014) – Evolução geodinâmica da Zona de Ossa-Morena no contexto do SW Ibérico durante o Ciclo Varisco. *Comunicações Geológicas*, vol. 101, Especial I, 275-278
- OLIVEIRA, J.T., OLIVEIRA, V., PIÇARRA, J (1991) – Traços gerais da evolução tectonoestratigráfica da Zona de Ossa Morena, em Portugal: síntese crítica do estado atual dos conhecimentos. *Comum. Serv. Geol. Port.*, vol. 77:3-26
- OLIVEIRA, J.T., RELVAS, J., PEREIRA, Z., MATOS, J., ROSA, C., ROSA, D., MUNHÁ, J., FERNANDES, P., JORGE, R., PINTO, A., (2013) – Geologia Sul portuguesa, com ênfase na estratigrafia, vulcanologia física, geoquímica e mineralizações da faixa piritosa. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (Eds.), *Geologia de Portugal*. Vol. I. Escolar Editora, Lisboa, pp. 673-767.
- PEREIRA, Z., OLIVEIRA, V., OLIVEIRA, J.T. (2006) – Palynostratigraphy of the Toca da Moura and Cabrela Complexes, Ossa Morena Zone, Portugal. Geodynamic implications. *Rev. Paleobot. Palyno.*, vol. 139: 227-240
- RIBEIRO, A. (1983) – Relações entre formações do Devónico Superior e o Maciço de Évora na região de Cabrela (Vendas Novas). Guia das excursões no bordo sudoeste da Zona de Ossa-Morena. *Comum. Serv. Geol. Portugal*, tomo 69, fasc. 2: 267-282
- SANTOS, F. J., MATA, J., GONÇALVES, F., MUNHÁ, J. (1987) – Contribuição para o Conhecimento Geológico-Petroológico da Região de Santa Susana: O Complexo Vulcano-Sedimentar da Toca da Moura, *Comum. Serv. Geol. Portugal*, tomo 73, fasc. 1-2, pp. 29-48
- SANTOS, J. F., ANDRADE, A. S., MUNHÁ, J. M., (1990) – Magmatismo orogénico varisco no limite meridional da Zona de Ossa Morena. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, vol. 76, 91-124
- THEIAS, A., MOREIRA, N., MACHADO, G., RAMOS, M., SILVÉRIO, G., JORGE, J., ESTEVES, C., CACHÃO, M. (2018) – Estrutura dos Calcários da Pedreira de Engenharia e a sedimentação carbónica envolvente: implicações geodinâmicas. Livro de Actas do VIII Congresso Jovens Investigadores em Geociências, Estremoz, 94-97.

Biostratigrafia, paleoecologia e paleobiogeografia de palinomorfos do Cenomaniano médio da Nazaré (Portugal)

Biostratigraphy, palaeoecology and palaeobiogeography of palynomorphs from the middle Cenomanian of Nazaré (Portugal)

L. Fernandes^{1*}, L. Castro², P. Callapez³ & M.I. Caetano Alves⁴

¹ Instituto de Ciências da Terra (ICT), Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

² Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra, GeoBioTec, Quinta da Torre, 2829-516 Caparica, Portugal

³ Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, CITEUC, Departamento de Ciências da Terra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal

⁴ Instituto de Ciências da Terra (ICT) e Laboratório de Paisagens, Património e Território (Lab2PT); Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal

* lberardo18@hotmail.com

Resumo: No presente trabalho foram estudadas 12 amostras e efetuada a análise palinológica e estratigráfica de níveis lamínicos margosos e margo-calcários, do Cenomaniano médio, no promontório da Nazaré. Identificaram-se 24 *taxa* de dinocistos, pólenes, esporos, forros internos de foraminíferos, algas verdes e acritarcas. Nas associações de palinomorfos recuperadas merece destaque, do ponto de vista biostratigráfico, a presença de quistos de dinoflagelados, com dominância dos *taxa Subtilisphaera* sp., *Xenascus* sp. e o grupo *Sentusidinium* spp., sugerindo ambientes neríticos internos de baixa profundidade com algum grau de confinamento (possivelmente salobros), sujeitos a incursões marinhas inferidas pela presença de *Oligosphaeridium* sp., *Florentinia* sp., *Palaeohystrichophora infusoriodes*, *Xenascus ceratioides*, *Coronifera oceanica*, *Downiesphaeridium* sp. e *Xiphophoridium alatum*.

Palavras-chave: Quistos de dinoflagelados, Cenomaniano médio, paleoecologia, paleobiogeografia, Nazaré (Portugal).

Abstract: The present study provides the palynological and stratigraphic analysis of marls and marly limestones sections of the middle Cenomanian on the Nazaré promontory. The palynological content recorded 24 *taxa* of dinocysts, pollen, spores, microforaminiferal linings, green-algae, and acritarchs, on a total of 12 samples. In the recovered palynomorphs deserves attention, from a biostratigraphic point of view, the presence of dinoflagellate cysts, which are dominated by *Subtilisphaera* sp., *Xenascus* sp. and *Sentusidinium* spp. group, suggesting a rather restricted shallow inner neritic environment (possibly brackish), open to marine influence, represented by *Oligosphaeridium* sp., *Florentinia* sp., *Palaeohystrichophora infusoriodes*, *Xenascus ceratioides*, *Coronifera oceanica*, *Downiesphaeridium* sp. and *Xiphophoridium alatum*.

Key-words: Dinoflagellate cysts, Middle Cenomanian, palaeoecology, paleobiogeography, Nazaré (Portugal).

INTRODUÇÃO

Durante o Cenomaniano (100,5-93,9 Ma) o domínio marinho com sedimentação carbonatada estendeu-se a toda a Orla Meso-Cenozóica Ocidental de Portugal, constituindo um importante intervalo transgressivo de origem eustática que se encontra registado no enchimento pós-rifte do *onshore* da Margem Ocidental Ibérica (e.g. Berthou, 1973, 1984b; Callapez, 2008; Martín-Chivelet *et*

al., 2019). Esta sucessão estratigráfica inicia-se com corpos siliciclásticos grosseiros do Aptiano-Albiano que colmatam as séries *sin-rift* da Bacia Lusitânica, às quais se segue um corpo carbonatado de idade Albiano médio-Turoniano inferior, representativo da instalação e evolução tectono-sedimentar da Plataforma Carbonatada Ocidental Portuguesa (Berthou, 1984a; Callapez, 1998). Esta plataforma contextualiza-se, também, nos domínios do oceano Tétis localizados no sul da Europa, apresentando grande diversidade de fácies carbonatadas e mistas, fossilíferas, em que elementos faunísticos e florísticos permitem estabelecer analogias entre regiões temperadas oeste-europeias e norte-africanas.

A área de estudo, localizada no promontório da Nazaré, insere-se nos domínios deste corpo carbonatado. Esta área é caracterizada por uma ampla exposição de níveis com fácies carbonatadas e mistas de idade cenomaniana, equivalentes à “Formação Carbonatada” (Soares, 1966) da região do Baixo Mondego e de setores da Beira Litoral e do norte da Estremadura situados entre Leiria, Ourém e Juncal. Devido à prevalência de fácies lagunares ricas em matéria orgânica, durante o Cenomaniano inferior e médio, o afloramento da Nazaré constitui um local de excelência para o estudo de associações de palinórfos com relevância biostratigráfica e interesse para a caracterização paleoambiental deste troço da sucessão carbonatada, devidamente integrados com outros grupos taxonómicos anteriormente estudados (Oliveira, 2017).

O presente estudo pretende dar continuidade aos trabalhos efetuados no Cenomaniano da Nazaré (Oliveira, 2017), contribuindo para melhorar o conhecimento existente na área com base em novos dados palinostratigráficos obtidos, principalmente, através do estudo dos quistos de dinoflagelados (dinoquistos). Este grupo de palinórfos marinhos permite obter informações importantes na reconstituição dos ambientes do passado e na evolução da Terra, sendo, igualmente, importante para a Estratigrafia, pelas indicações das idades relativas dos sedimentos e das rochas sedimentares.

METODOLOGIA

O levantamento do perfil geológico efetuou-se ao longo da parte sul da falésia do promontório da Nazaré, na sucessão carbonatada do Cenomaniano inferior equivalente ao topo das “Camadas com *Exogyra* *pseudofrancica*” (Choffat, 1885, 1886, 1900) e ao Cenomaniano médio (nível “B” de Choffat, 1897 ou “Camadas com *Pterocera* *incerta*” sensu Choffat, 1885, 1886, 1900), com estratos totalizando cerca de 50 m de espessura, entre o Sítio e o Guilhím.

Fez-se a recolha de 12 amostras, dando preferência a níveis laminíticos margosos e margo-calcários friáveis e compactos, de cor escura e de granulometria fina, por serem mais favoráveis para o estudo. O material foi preparado no Laboratório de Paleontologia do Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (DCT/FCT/UNL), utilizando-se a metodologia padrão para preparação de amostras palinológicas (Wood et al., 1996; Castro, 2006),

com o objetivo de desagregar a amostra, eliminar quimicamente os materiais inorgânicos através de ácidos clorídrico e fluorídrico, limpar e concentrar o material orgânico e preparar lâminas delgadas para a observação e estudo ao microscópio ótico Nikon Eclipse-E600, com câmara Nikon Digital Sight DS-L2. Lâminas e amostras encontram-se arquivadas no DCT/FCT/UNL.

RESULTADOS

As amostras revelaram um conteúdo palinológico diversificado, incluindo dinoquistos, pólenes, esporos, forros internos de foraminíferos, algas verdes e acritarcas. Em geral, verificou-se uma abundância relativa acentuada de palinómorfos terrestres (pólenes e esporos). Esta é indicadora de um elevado acarreo de terrígenos, sugerindo proximidades terrestres. A presença de forros internos de foraminíferos e algas verdes sugerem ambientes costeiros e/ou restritos de plataforma de baixa profundidade, com entradas de água doce. As associações de quistos de gonialacóides apresentam uma maior diversidade em relação aos quistos de peridinióides, com 20 *taxa* identificados, em comparação aos 4 *taxa* identificados de peridinióides. Os peridinióides são representados por *Laciniadinium* sp., *Spinidinium* sp., *Subtilisphaera* sp., *Palaeohystrichophora infusorioides* e os gonialacóides são representados por *Canningia* sp., *C. reticulata*, *Circulodinium* sp., *Coronifera oceanica*, *Downiesphaeridium* sp., *Exochosphaeridium* sp., *Florentinia* sp., *F. aff. cooksoniae*, *F. cf. deanei*, *F. mantellii*, *Impletosphaeridium* spp., *Oligosphaeridium* sp., *Operculodinium* sp., *Rhaetogonyaulax* sp., *Spiniferites* sp., *S. ramosus*, *Xenascus* sp., *X. ceratiooides* e *Xiphophoridium alatum* e pelo grupo *Sentusidinium* spp. Verificou-se que *Subtilisphaera* sp. é o género dominante na maioria das amostras, excetuando em duas amostras, cujas associações são dominadas por *Xenascus* sp. e pelo grupo *Sentusidinium* spp.

No que diz respeito à idade dos sedimentos estudados, a presença de *Xiphophoridium alatum* com Primeira Ocorrência (PO) no Cenomaniano médio definida para o Hemisfério Norte (Williams *et al.*, 2004), permitiu assinalar idade igual ou superior ao Cenomaniano médio.

O domínio do género termófilo *Classopollis* sp. (gimnospérmicas), a ocorrência de angiospérmicas (e.g. grupo Normapolles), de pteridófitas (e.g. *Cicatricosisporites* sp.), de licófitas (e.g. *Leptolepidites* sp.) e de briófitas (e.g. *Stereisporites* sp.), indicam condições húmidas locais em climas sazonalmente quentes e áridos.

Do ponto de vista paleogeográfico as associações de palinómorfos recuperadas denunciam padrões caracterizados por alto domínio-baixa diversidade, traduzindo ambientes neríticos internos (Goodman, 1979).

CONCLUSÃO

A análise do conteúdo palinológico efetuada no âmbito do presente trabalho, confirma os dados obtidos por Oliveira (2017) e, juntamente com os estudos macrofaunísticos de Callapez (1998, 2008)

e Callapez *et al.* (2014), sugere ser do Cenomaniano médio para a secção da Nazaré, onde se observa a prevalência de um paleoambiente marginal-lagunar com algum grau de confinamento, possivelmente salobro, por vezes, aberto às condições marinhas. A presença de dinoflagelados com ecologias distintas sugere condições variáveis no meio, geralmente, de baixa a reduzida salinidade, rico em nutrientes, de produtividade alta, sujeito a correntes costeiras de *upwelling* e a modificações na temperatura da água, sob climas essencialmente quentes e áridos.

Bibliografia

- BERTHOU, P.-Y. (1973). Le Cénomaniens de l' Estremadure portugaise. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, 23:1-169.
- BERTHOU, P.-Y. (1984a). Albain-Turonian stage boundaries and subdivisions in the Western Portuguese Basin, with special emphasis on the Cenomanian-Turonian boundary in the Ammonite Facies and Rudist Facies. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 33: 41-45.
- BERTHOU, P.-Y. (1984b). Résumé synthétique de la stratigraphie et de la paléogéographie du Crétacé moyen et supérieur du bassin occidental portugais. *Geonovas*, 7: 99-120.
- CALLAPEZ, P.M. (1998). *Estratigrafia e Paleobiologia do Cenomaniano-Turoniano. O significado do eixo da Nazaré-Leira-Pombal*. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra: 479 pp.
- CALLAPEZ, P.M. (2008). Palaeogeographic evolution and marine faunas of the Mid-Cretaceous Western Portuguese carbonate platform. *Thalassas*, 24 (1): 29-52.
- CALLAPEZ, P.M., BARROSO-BARCENILLA, F., CAMBRA-MOO, O., ORTEGA, F., PÉREZ-GARCIA, 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.
- CASTRO, L.S. (2006). *Dinoflagelados e outros palinórfos do Miocénico do setor distal da Bacia do Baixo-Tejo*. Tese de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa: 380 pp.
- CHOFFAT, P.L. (1885). *Recueil de monographies stratigraphiques sur le Système Crétacique du Portugal – première étude – Contrée de Cintra, de Bellas et de Lisbonne*. Section des Travaux Géologiques du Portugal, Lisbonne: 68 pp.
- 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, Lisbonne: 40 pp.
- CHOFFAT, P.L. (1897). Sur le Crétacique de lá région du Mondego. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 124: 422-424.
- CHOFFAT, P.L. (1900). *Recueil de monographies stratigraphiques sur le Système Crétacique du Portugal – deuxième étude. Le Crétacé supérieur au Nord du Tage*, Direction Serv. Géol. Portugal, Lisbonne: 287 pp.
- GOODMAN, D.K. (1979). Dinoflagellate "communities" from the Lower Eocene Nanjemoy Formation of Maryland, USA. *Palynology*, 3: 169-190.
- MARTÍN-CHIVELET, J., FLOQUET, M., GARCÍA-SENZ, J., CALLAPEZ, P.M., LÓPEZ-MIR, B., MUÑOZ, J.A., BARROSO-BARCENILLA, F., SEGURA, M., SOARES, A.F., DINIS, P.A., MARQUES, F.J. & ARBUÉS, P. (2019). Late Cretaceous post-rift to Convergence in Iberia. In: C. Quesada & J.T. Oliveira (Eds.) - *The Geology of Iberia: A geodynamic approach*, Springer Nature, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11295-0_7].
- 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*. MSc Geociências, Univ. Coimbra: 225 pp.
- 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.
- WILLIAMS, G.L., BRINKHUIS, H., PEARCE, M.A., FENSOME, R.A. & WEEGINK, J.W. (2004). Southern Ocean and global dinoflagellate cyst events compared: index events for the Late Cretaceous-Neogene. In: N.F. Exon, J.P. Kennett & M.J. Malone (Eds.), *Proceedings of the ODP, Scientific Results*, 189: 1-98.
- WOOD, G.D., GABRIEL, A.M. & LAWSON, J.C. (1996). Palynological techniques – processing and microscopy. In: Jansonius, J. & McGregor, D.C. (Eds.), *Palynology: Principles and Applications*. AASP Foundation, 1: 29-50.

Balanídeos do Pliocénico de Vale de Freixo (Pombal, Portugal): dados preliminares

Pliocene balanids from Vale de Freixo (Pombal, Portugal): Preliminary data

Filipa Ferreira^{1*}, Sofia Pereira², Carlos Marques da Silva¹

¹Instituto Dom Luiz e Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

²Centro de Geociências, Universidade de Coimbra.

*f.vf@live.com.pt

Resumo: O estudo dos cirrípedes do Pliocénico de Vale de Freixo revelou a presença de quatro espécies de balanídeos anteriormente desconhecidas no Neogénico português, uma das quais em nomenclatura aberta: *Austromegabalanus (Notomegabalanus) decorus* (Darwin), *Balanus crenatus* Bruguière, *Concavus concavus* (Bronn) e *Zulloconcavus* sp. Duas placas de muralha recolhidas apresentam vestígios de estruturas bioerosivas de tipo *Oichnus*, tendo como prováveis produtores gastrópodes muricídeos.

Palavras-chave: Cirripedia, Neogénico, Carnide, *Oichnus*

Abstract: The preliminary study of the Cirripedia of the Pliocene of Vale de Freixo revealed four species of balanids previously unknown from the Portuguese Neogene, one of which with open nomenclature: *Austromegabalanus (Notomegabalanus) decorus* (Darwin), *Balanus crenatus* Bruguière, *Concavus concavus* (Bronn), *Zulloconcavus* sp. Two wall fragments collected show traces of bioerosion – *Oichnus* – being muricid gastropods the most likely producers.

Keywords: Cirripedia, Neogene, Carnide, *Oichnus*

INTRODUÇÃO

As referências mais antigas a cirrípedes do registo fóssil nacional são de Sharpe (1834) e Smith (1842) que referiram a ocorrência de *Balanus* no Miocénico de Almada. Este material foi posteriormente revisto por Darwin (1854: est. I, figs. m-n) e atribuído a *Balanus concavus* Bronn, 1831. Não obstante este interesse precoce pelos cirrípedes neogénicos nacionais, quase 170 anos volvidos, o grupo foi apenas mencionado em listas de fósseis (e.g., Teixeira & Zbyszewski, 1951 e Zbyszewski, 1959), sendo as exceções os trabalhos do Miocénico de Henriques da Silva (1959), ilustrando *Balanus* sp. do Porto Santo (Madeira), e de Winkelmann *et al.* (2010), formalizando *Zullobalanus santamariaensis* de Santa Maria (Açores). No presente trabalho são identificados e figurados pela primeira vez cirrípedes do Pliocénico de Vale de Freixo (Carnide, Pombal), bem como estruturas bioerosivas predatórias do tipo *Oichnus* a elas associadas, discutindo-se as suas implicações paleoecológicas.

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOGRÁFICO

Na região de Pombal – Marinha Grande – Caldas da Rainha (Bacia do Mondego), o Pliocénico assenta em desconformidade erosiva sobre sequências meso-cenozoicas. Na região de Vale de Freixo (39°52'59.57"N, 8°43'52.23"W), próximo de Carnide (Pombal, Leiria), a sequência pliocénica sobrepõe-se à Formação Argilito de Amor (Miocénico médio), estando representada pela Formação

Arenito de Carnide (FAC) (Cachão, 1989). O material estudado provém da secção basal conglomerática e arenítica fossilífera da FAC. A associação presente caracteriza-se pela abundância de moluscos, contendo também briozoários, equinodermes, cirrípedes e raros dentes de tubarão, entre outros (Silva, 2001). O estudo de nanofósseis calcários atribuiu estas camadas ao topo do Zancleano - Placenciano inferior (Cachão, 1989; Diniz *et al.*, 2016). Para além dos gastrópodes (Silva, 2001), destacam-se trabalhos pontuais sobre poliplacóforos, bivalves (Pimentel, 2018) e otólitos de peixes teleósteos (*vd.* Diniz *et al.*, 2016). Embora alguns autores tenham referido a ocorrência de cirrípedes no Pliocénico de Carnide (e.g., Teixeira & Zbyszewski, 1951), esta associação nunca foi anteriormente descrita nem ilustrada.

MATERIAL E MÉTODOS

Lavou-se 0,5 kg de sedimento, sendo recolhida para estudo a fração 1-5mm. Efetuou-se triagem à lupa binocular, seleccionando-se os tergos e escudos, essenciais para a sistemática do grupo, bem como placas da muralha evidenciando estruturas bioerosivas. Recolheram-se 32 tergos e 96 escudos e duas placas de muralha. O estado de conservação do material é variável, sendo que as placas operculares apresentam uma conservação tanto má como boa, enquanto as placas da muralha – bioclastos muito frequentes – se mostram em geral bastante fraturadas. Os espécimes figurados foram branqueados com cloreto de amónio e fotografados com câmara Canon EOS 77D equipada com objectiva macro Canon MP-E 65mm f/2.8. O material estudado encontra-se depositado no PaleoLab do Departamento de Geologia da FCUL.

PALEONTOLOGIA

Identificaram-se quatro espécies pertencentes à família Balanidae, uma das quais em nomenclatura aberta: *Austromegabalanus (Notomegabalanus) decorus* (Darwin, 1854), *Balanus crenatus* Bruguière, 1789, *Concavus concavus* (Bronn, 1831) e *Zulloconcavus* sp. (Fig. 1). Esta última é o táxon mais bem representado (27 exemplares/21% material estudado), seguido de *B. crenatus* (20/16%), *C. concavus* (17/13%) e *A. (N.) decorus* (14/11%). Algumas placas operculares (32/25%) não foram identificadas por má conservação do material. As identificações basearam-se sobretudo nos escudos, dada a pouca variabilidade de caracteres morfológicos nos tergos representados (18/14%), tornando pouco segura a sua atribuição específica. A identificação do material atribuído a *Zulloconcavus* (Fig. 1.11-12) baseou-se na morfologia dos escudos, com presença de sulco intramarginal profundo, face exterior ornamentada com nódulos e crista adutora muito extensa. Porém, não se avançou identificação específica devido à diferença observada no sulco do músculo lateral depressor nos exemplares portugueses estudados (muito menos proeminente) em relação ao material-tipo da espécie considerada morfológicamente mais semelhante, *Zulloconcavus miosensis* Carriol, 2000 do Serravaliano de Mios (França). Os espécimes atribuídos a *C. concavus* (Fig. 1.1-4) apresentam escudo

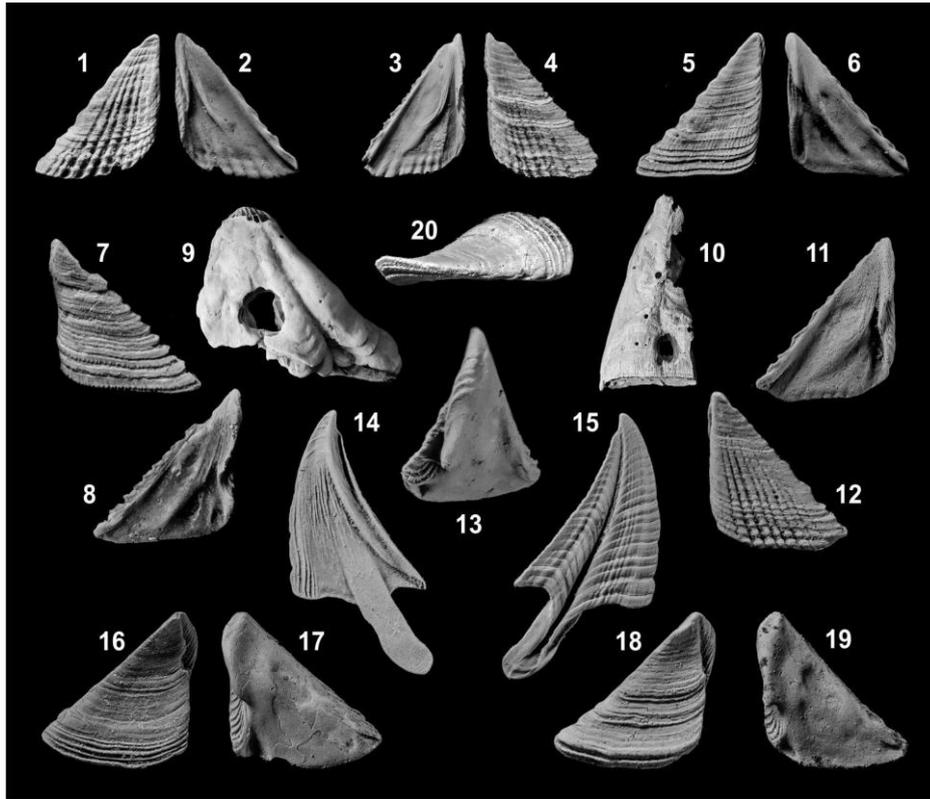


Fig. 1 – Balanídeos do Pliocénico de Vale de Freixo (Pombal, Portugal). 1-4, *Concavus concavus*, escudo direito, vista externa (1) e interna (2), e escudo esquerdo, vista interna (3) e externa (4); 5-8, *Austromegabalanus* (*Notomegabalanus*) *decorus*, escudo direito, vista externa (5) e interna (6), e escudo esquerdo, vista interna (8) e externa (7); 9-10, Fragmentos de muralha exibindo marcas de predação do tipo *Oichnus*; 11-12, *Zulloconcavus* sp., escudo esquerdo, com vista interna (11) e vista externa (12); 14-15, Balanidae indet., tergo, face interior (14) e exterior (15). 13, 16-20, *Balanus crenatus*, dois escudos direitos com faces interior (17, 19) e exterior (16, 18), vista superior (13) e vista lateral (20). Dimensões: margem ocludente (1-2, 6mm; 3-4, 4mm; 5-6, 5mm; 7-8, 3 mm; 11-12, 4mm; 16-17, 4mm; 18-20, 3mm); margem escudal (14-15, 6mm); fragmentos de muralha (longitudinal: 9, 14mm; 10, 16mm).

estreito, com crista adutora pouco pronunciada e estrias proeminentes na face exterior que se atenuam em direção à margem ocludente, em conformidade com os caracteres diagnósticos referidos por Newman (1982) e Zullo (1992). Porém, o material estudado apresenta o sulco intramarginal entre as margens basal e ocludente menos pronunciado que o documentado por Zullo (1992) em *C. concavus* do Zancleano da Toscana (Itália). Os escudos de *A. (N.) decorus* (Fig. 1.5-8) apresentam estrias longitudinais na face externa, sulco do músculo depressor lateral profundo e bem definido, crista articular fortemente ornamentada e conectada ao sulco articular e crista adutora saliente. Estes caracteres estão de acordo com *A. (N.) decorus* documentada no Miocénico das Ilhas Kerguelen (Oceano Índico) por Carriol (1992). Relativamente a *A. (N.) decorus* do Zancleano da Toscana, descrita por Zullo (1992), os exemplares estudados apresentam sulco articular mais amplo. Os escudos aqui identificados como *B. crenatus* (Fig. 1.13, 16-20) são congruentes com o material do Pliocénico da Catalunha (Espanha) atribuído a este táxon por Riba-Viñas & Martinell (1986; fig. 5H-I), com arqueamento muito proeminente, evidenciando face externa côncava, bem como sulco articular muito reentrante (Fig. 1.13). De entre as espécies identificadas neste trabalho, apenas *C. concavus* foi anteriormente reportada no Pliocénico da Marinha Grande – Pombal por Morais (1941) e

Zbyszewski (1959). A identificação de *Balanus tintinnabulum* por Teixeira & Zbyszewski (1951) para o Pliocénico de Carnide foi posteriormente abandonada em Zbyszewski (1959). Darwin (1954) atribuiu exemplares do Miocénico de Almada a *C. concavus*. Os tergos representados na jazida de Vale do Freixo com morfologias muito similares entre si (Fig. 1.14-15), caracterizam-se por apresentar o sulco do esporão mais fechado, pelo que não consideramos nenhum dos taxa representados conspécifico do material figurado por Darwin (1854). De facto, Zullo (1992) considerou que os espécimes figurados pelo famoso naturalista representam uma espécie de *Arossia* Newman, 1982.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Apesar de pouco frequentes, ocorrem placas de muralhas ostentando estruturas de tipo *Oichnus* (Fig. 1.9-10), sendo esta a primeira referência para o registo fóssil nacional. Estas estruturas são amiúde atribuídas a predação por gastrópodes naticídeos. Os naticídeos são endobentónicos, sendo candidatos improváveis para estes ataques a cirrípedes epifaunais. A actividade predatória de muricídeos, epibentónicos, sobre cirrípedes está bem documentada, sendo conhecidos produtores de *Oichnus* isp. (Klomp maker *et al.*, 2015). Além disso, na associação de Vale do Freixo estão representadas várias espécies de Muricidae. Este trabalho preliminar identificou um conjunto de táxones de Balanidae anteriormente desconhecidos no Neogénico português, realçando a diversidade e a importância ecológica dos cirrípedes nos ambientes bentónicos pliocénicos.

Bibliografia

- BRONN, H. G. (1831) - *Italiens Tertir-Gebilde und deren organische Einschliisse*. K. Groos, Heidelberg, 176 p
- BRUGUIÈRE (1789) - Histoire naturelle des vers, encyclopédie méthodique ou par de matières. *Histoire*, 1: 1-150.
- CACHÃO, M. (1989) - Contribuição para o estudo do Pliocénico marinho Português. Dissertação PAPCC, FCUL.
- CARRIOL, R. P. (1992) Balanoidea du Néogène de Vendée (France). *Bull. Mus. Nat. His. Nat.*, sér.4, 14: 141-155.
- CARRIOL, R. P. (2000) - A new genus and a new species of Concavinae (Cirripedia, Thoracica) from the Serravallian of Mios (Gironde, France). *Neues Jahrbuch fur Geologie und Palaontologie-Monatshefte*, 2: 122-128.
- DARWIN, C. (1854) - *A monograph on the fossil Balanidæ and Verrucidæ of Great Britain*. London, Palæontographical Society, 44 pp.
- DINIZ, F.; SILVA, C.M. DA & CACHÃO, M. (2016) - O Pliocénico de Pombal (Bacia do Mondego, Portugal Oeste): Biostratigrafia, Paleocologia e Paleobiogeografia. *Estudos do Quaternário*, 14: 41-59.
- HENRIQUES DA SILVA, G. 1959. Fósseis do Miocénico marinho da Ilha de Porto-Santo. *Memórias e Notícias, Publicações do Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra*, 48: 1-22.
- KLOMPMAKER, A. A., PORTELL, R. W., LAD, S. E., KOWALEWSKI, M. (2015) - The fossil record of drilling predation on barnacles. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 426: 95-111.
- MORAIS, J.C. (1941) - Mais alguns fósseis da região do Pinhal de Leiria. *Memórias e Notícias*, 10: 3-5.
- NEWMAN, W.A. (1982) - A review of the extant taxa of the "Group of *Balanus concavus*" (Cirripedia, Thoracica) and a proposal for genus group ranks. *Crustaceana*, 43: 25-36.
- PIMENTEL, R. (2018) - Bivalvia (Mollusca) do Pliocénico de Vale de Freixo (Pombal). Tese de Mestrado, FCT-UNL.
- RIBA-VIÑAS, O.; MARTINELL, J. (1986) - Observacions sobre els balanids (Crustacea: Cirripedia) del Pliocene mari del l'Emporda. *Butll. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 53 (Sec. Geol., 4): 151-160
- SILVA, C.M. DA (2001) - Gastrópodes Pliocénicos Marinhos de Portugal. Sistemática, Paleocologia, Paleobiologia, Paleobiogeografia. Tese de doutoramento. FCUL.
- TEIXEIRA, C. & ZBYSZEWSKI, G. (1951) - Note sur le Pliocène de la Région à l'Ouest de Pombal. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 32(1): 295-302.
- WINKELMANN, K.; BUCKERIDGE, J.; COSTAS, A.; DIONÍSIOS, M.; MEDEIROS, A.; CACHÃO, M.; ÁVILA, S. (2010) - *Zullobalanus santamariensis* sp. nov., a new late Miocene barnacle species of the family Archaeobalanidae (Cirripedia: Thoracica), from the Azores. *Zootaxa*, 2680(2680): 33-44.
- ZBYSZEWSKI, G. (1959) - Etude structurale de l'aire typhonique de Caldas da Rainha. *Mem. S.G.Portugal*,3: 1-182.
- ZULLO, V. A. (1992) - Revision of the balanid barnacle genus *Concavus* Newman, 1982, with the description of a new subfamily, two new genera, and eight new species. *Jour. Paleontology, Paleont. Soc. Memoir*, 27, 1-46.

Âmbar: a jóia esquecida do património paleontológico português

Amber: the forgotten jewel of the Portuguese palaeontological heritage

G. Silvério^{1*}

¹ Universidade de Valência, Departamento de Botânica e Geologia, Rua Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot, Espanha.

* goncalo.silverio@sapo.pt

Resumo: São conhecidas ocorrências de âmbar em Portugal desde o séc. VII, muito sucintamente documentadas e nunca de modo preciso, sem referência a zonas de colheita. A escassez de referências a âmbar nacional, a sua relativa abundância em jazidas arqueológicas e recentes estudos de proveniência de âmbar em contexto arqueológico levam a crer que as ocorrências geológicas de âmbar em Portugal são raras. Neste trabalho procurou-se reconhecer no campo essas ocorrências em contexto geológico, reportadas na bibliografia. Os trabalhos de prospeção foram focados principalmente na zona sul da Bacia Lusitânica, de onde apenas uma localização foi confirmada como tendo âmbar em afloramento: o Cretácico Inferior da Praia da Bafureira. No futuro, com a persistência dos trabalhos de prospeção na zona sul da bacia, bem como o prolongamento destes estudos para norte, é de esperar a confirmação das restantes ocorrências e a descoberta de novas jazidas, que fornecerão dados importantes sobre a flora do Cretácico português.

Palavras-chave: Resina fóssil, paleobotânica, Aptiano, Cretácico Inferior

Abstract: Occurrences of amber in Portugal are known since the VII century, being very succinctly documented, with little accuracy and with no reference to amber collecting locations. The scarcity of references to national amber, their relative abundance in archaeological sites and recent studies of amber provenance in archaeological context lead to the belief that geological occurrences of amber in Portugal are rare. The aim of this work is to track the occurrences of amber in the field, from sites reported in the literature. The field work was mainly focused on the southern sector of the Lusitanian Basin, but only one location was confirmed: the Lower Cretaceous of Praia da Bafureira. In the future, the persistence of the field work in the southern part of the basin, as well as in the northern sector, should confirm the remaining occurrences and lead to the discovery of new sites, providing important data on the Portuguese Cretaceous flora.

Key-words: fossil resin, paleobotany, Aptian, Lower Cretaceous

INTRODUÇÃO

Existem vários significados para âmbar, dependendo do contexto em que é referido: âmbar mineral, âmbar negro ou âmbar cinzento (Silvério & Madeira, 2018). Neste trabalho será focado o âmbar como resina fóssil.

A génese do âmbar compreende a polimerização das moléculas constituintes da resina, passando de uma substância original de elevada viscosidade para um produto final mineralóide, cujas composição e estrutura dependem da composição da resina original (Drzewicz *et al.*, 2016). Essa polimerização é resultado da pressão e temperatura a que as resinas são sujeitas depois do

enterramento, podendo a resina nunca chegar a atingir um estado sólido como o âmbar. A essa fase intermédia entre resina e âmbar dá-se o nome de copal.

Este estudo tem como objetivo rever as ocorrências de âmbar documentadas em Portugal e de confirmar essas ocorrências através de trabalhos de prospeção nos locais identificados no setor sul da Bacia Lusitânica.

OCORRÊNCIAS DE ÂMBAR REPORTADAS EM PORTUGAL

Existem poucas ocorrências naturais de âmbar documentadas em Portugal e as que existem não são claras quanto ao tipo de âmbar a que se referem. O registo mais antigo, datado do séc. VII, reporta uma abundante ocorrência de âmbar nas praias portuguesas, de Sintra ao Algarve (Sidarus & Rei, 2001). Porém, essas referências a âmbar nas costas portuguesas relacionam-se inteiramente com ocorrências de âmbar cinzento (Sidarus & Rei, 2001), uma substância segregada no sistema digestivo de cachalotes como forma de proteção do seu organismo das partes duras dos animais de que se alimenta (e.g., lulas gigantes).

Na falta de dados históricos concretos sobre a ocorrência de âmbar mineral, a atenção deve ser direcionada para o registo arqueológico e paleontológico.

Uma compilação dos achados arqueológicos sobre âmbar em todo o país foi feita por Vilaça *et al.* (2002), sendo esses dados incorporados no resumo geral de ocorrências arqueológicas e paleontológicas de âmbar em Portugal (Peñalver *et al.*, 2018; Fig. 1). Porém, nenhuma ocorrência paleontológica é confirmada pelos últimos autores.

Duas das ocorrências arqueológicas, São Paulo e Quinta do Marcelo (Fig. 1, 22), juntamente com outras amostras de ocorrências em Espanha, foram analisadas quimicamente, numa tentativa de determinar a sua proveniência (Murillo-Barroso *et al.*, 2018). Os resultados das análises indicam que o âmbar encontrado nas jazidas do Centro e Sul da península é, primeiramente (4000 AC), âmbar

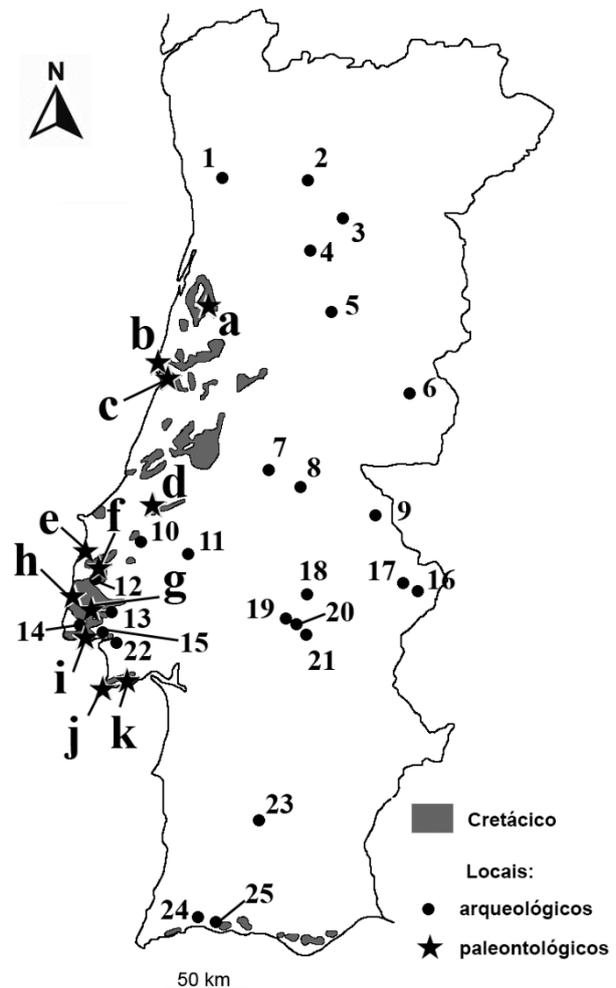


Figura 1 – Ocorrências arqueológicas e paleontológicas de âmbar em Portugal. (adaptado de Peñalver *et al.*, 2018, usando a mesma referência de letras e números)

sicílico e, posteriormente (2000 AC), âmbar báltico, enquanto o âmbar encontrado nas Astúrias tem uma proveniência regional ao longo de toda a história. Portanto, é de assumir que o âmbar encontrado em Portugal em contexto arqueológico não provém de jazidas portuguesas. Resta confirmar as ocorrências paleontológicas. Porém, nem estas são claras.

De acordo com o trabalho de revisão realizado por Peñalver *et al.* (2018), existem pelo menos 11 ocorrências paleontológicas de âmbar em Portugal, distribuídas por várias formações cretácicas na Bacia Lusitânica. Contudo, não foi feita nenhuma confirmação destas ocorrências pelo facto de não terem sido descritas adequadamente aquando a descoberta, não havendo qualquer certeza sobre a sua localização correta.

TRABALHOS DE PROSPECÇÃO

Numa tentativa de confirmar as ocorrências paleontológicas de âmbar reportadas em Portugal, foi feito um trabalho de prospeção na zona sul da Bacia Lusitânica, nos locais indicados na Fig. 1 como “e”, “h”, “i”, “j” e “k”. A ocorrência “i” (Praia da Bafureira, Cascais) foi descoberta por José Madeira (Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa). Desde então que a ocorrência é divulgada entre os estudantes e docentes do mesmo departamento e, portanto, a sua localização exata e contexto geológico são bem conhecidos, sendo essa a primeira e única ocorrência devidamente documentada do ponto de vista geológico em Portugal (Silvério & Madeira, 2018; Fig. 2).

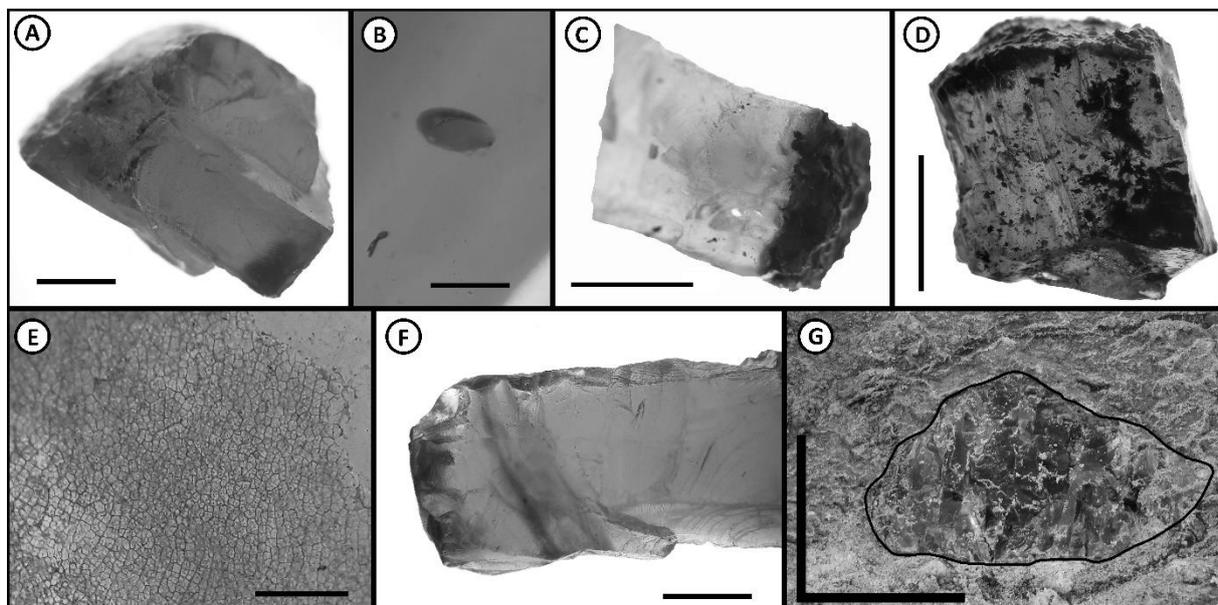


Figura 2 – Âmbar da Praia da Bafureira (Cretácico Inferior). A - Fraturação plana em fragmento de âmbar; B – Inclusão fluida; C – Bordo de uma massa, rico em inclusões indeterminadas; D – Bioinclusões de detrito vegetal; E – Fendas de retração na superfície de uma massa de âmbar; F – Bandas de coloração distinta no interior de um fragmento de âmbar; G – Massa de grandes dimensões, in situ. Escalas: A e F – 2mm; B e E – 0,5mm; C e D – 5mm; G – 4cm nos dois eixos. (Silvério & Madeira, 2018)

Após confirmação da ocorrência, procedeu-se à prospeção em locais onde aflora a mesma formação (Formação do Rodízio; Rey, 1992), datada do Aptiano superior ao Albiano inferior (Rey, 1972, 1992), nomeadamente em Alcabideche (não assinalado na Fig. 1), Praia da Cresmina (idem) e na Praia de São Julião (ocorrência “h”). Na última, vários níveis ricos em carvão, de características idênticas aos encontrados na Praia da Bafureira, foram identificados, mas nenhum vestígio de âmbar foi encontrado.

A seguinte campanha de campo realizou-se na Praia de Santa Cruz (ocorrência “e”), onde os níveis de carvão são mais finos e os níveis de arenito mais espessos, semelhante ao que se encontra na Praia da Cresmina. Uma vez mais, não foram encontradas evidências de âmbar. Resultados idênticos foram obtidos para as ocorrências “j” (Praia dos Lagosteiros) e “k” (Sesimbra), onde níveis de carvão também foram identificados, mas sem nenhuma evidência de âmbar.

CONCLUSÃO

Os trabalhos de revisão bibliográfica e prospeção realizados nos últimos anos são prova de um interesse emergente na paleontologia de âmbar em Portugal. Até à data, apenas uma ocorrência foi confirmada: Cretácico Inferior da Praia da Bafureira, necessitando as restantes 10 ocorrências uma revisão exaustiva. Os resultados da prospeção realizada neste projeto na zona sul da Bacia Lusitânica mostraram-se negativos. Contudo, a presença de níveis de carvão sugere a possibilidade de ocorrência de âmbar, ainda que em quantidades reduzidas. A intensificação dos trabalhos de prospeção e a sua continuação para norte será, seguramente, uma peça fundamental para interpretar a flora, e fauna, do atual território nacional durante o Cretácico.

Agradecimentos

Pela ajuda no trabalho de campo tenho a agradecer a Alana Pereira, Ana Carolina Marques, António Passos, Beatriz Pereira, Diogo Carvalho, Diogo Mendes, Martim Ramos, Miguel Martins, Paulo Sousa e Pedro Cachapuz. Agradeço também aos professores Carlos Marques da Silva e Mário Cachão pela revisão desta publicação.

Bibliografia

- DRZEWICZ, P., NATKANIEC-NOWAK, L., CZAPLA, D. (2016) – Analytical approaches for studies of fossil resins. *Trends in Analytical Chemistry*, 85: 75-84.
- MURILLO-BARROSO, M., PEÑALVER, E., BUENO, P., BARROSO, R., DE BALBÍN, R., MARTINÓN-TORRES, M. (2018) – Amber in Prehistoric Iberia: new data and a review. *PLOS ONE*, 13(8): e0202235. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202235>
- PEÑALVER, E., BARRÓN, E., DELCLÒS, X., ÁLVAREZ-FERNÁNDEZ, E., ARILLO, A., LÓPEZ DEL VALLE, R., LOZANO, R. P., MURILLO-BARROSO, M., PÉREZ DE LA FUENTE, R., PERIS, D., RODRIGO, A., SÁNCHEZ-GARCÍA, A., SARTO I MONTEYS, V., VIEJO, J. L., VILAÇA, R. (2018) – Amber in Portugal: state of the art. In: VAZ, N. & SÁ, A. A. (eds.). Yacimientos paleontológicos excepcionales en la península Ibérica. *Cuadernos del Museo Geominero*, 27: 279-287.
- REY, J. (1972) – Recherches géologiques sur le Crétacé inférieur de l’Estremadura (Portugal). *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, 21: 1-471.
- REY, J. (1992) – Les unités lithostratigraphiques du Crétacé inférieur de la région de Lisbonne. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 78(2): 103-124.
- SIDARUS, A., REI, A. (2001) – Lisboa e o seu termo Segundo os geógrafos árabes. *Arqueologia Medieval*, 7: 37-72.
- SILVÉRIO, G. & MADEIRA, J. (2018) – Âmbar português: o caso de estudo do Apciano da Praia da Bafureira (Cascais, Portugal). *GEONOVAS*, 31: 67-72.
- VILAÇA, R., BECK, C., STOUT, E.C. (2002) – Provenience analysis of prehistoric amber artifacts in Portugal. *Madrider Mitteilungen*, 43: 61-78.

APROXIMAÇÃO À EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DA JAZIDA DE MAS DE LES CLAPISES NA FORMAÇÃO MIRAMBEL (BARREMIANO INFERIOR) EM PORTELL DE MORELLA, CASTELLON, ESPANHA

*PALEOENVIRONMENTAL EVOLUTION APPROACH OF THE MAS DE LES CLAPISES SITE IN THE
MIRAMBEL FORMATION (LOWER BARREMIAN) IN PORTELL DE MORELLA, CASTELLON, SPAIN*

O. Marí^{1*}

¹ University of Zaragoza, Earth Science department, 50009 Zaragoza, Aragon, Spain.

* 693717@unizar.es

Abstract: A section of Mas de les Clapises 1 site was studied from a multidisciplinary perspective (micropaleontology, sedimentology and clay geology). The section belongs to the Mirambel Formation in the lowermost part of the Early Barremian and it is located in the municipality of Portell de Morella (Castellon, Valencian Community, Spain). Diverse and abundant fossil remains have been recognized in most levels with presence of Charophytes (*Favargerella aquavivae*, *Atopochara trivolvis* var. *triquetra* and *Asciadiella stellata* var. *stellata*), ostracods, foraminifera (*Choffatella* sp. and *Ammobaculites?*), fragmentary tooth of Chondrichthyes (*Hybodontidae* indet.), Osteichthyes (Amiidae), crocodylomorphs (*Bernissartia* sp.) and dinosaurs (*Baryonychinae* indet.). The sedimentology and clay geology data show the climate conditions in which the materials were deposited were predominantly tropical and humid (presence of kaolinite), with initially lacustrine environments, emersion episodes with development of lateritic paleosols and finally the establishment of a shallow marine platform.

Key-words: Barremian, Weald facies, multidisciplinary approach.

INTRODUCTION

Mas de les Clapises (MCL) site (Fig.1B) has no previous studies and it is frequent to find both in apparent anatomic connection and dispersed dinosaur bones. The aim of this study was to characterize the evolution of the paleoenvironments combining micropaleontologic, sedimentologic and clay geology data taking sediment samples from the site. In order to accomplish the paleoenvironmental evolution approach the samples were taken systematically and studied in the University of Zaragoza after levigate in a binocular microscope for micropaleontological studies, milled and sifted in a 53 µm grid before DRX analysis for clay and mineral determinations and accurate field notes for sedimentologic data (Fig.1A).

The age of the site was set using charophyte assemblages formed by *Atopochara trivolvis* var. *triquetra*, *Asciadiella stellata* var. *stellata*, *Favargerella aquavivae* and *Charaxis baconicus* (Martín-Closas, 2000) which are typical species of the Triquetra Biozone, Early Barremian and lower part of the Late Barremian in age (Riveline et al., 1996; Climent-Domènech et al., 2009), according to the Mirambel Formation in the lowermost part of the Barremian in the Maestrat Basin and located between Portell de Morella (Castellon) and Mirambel (Teruel).

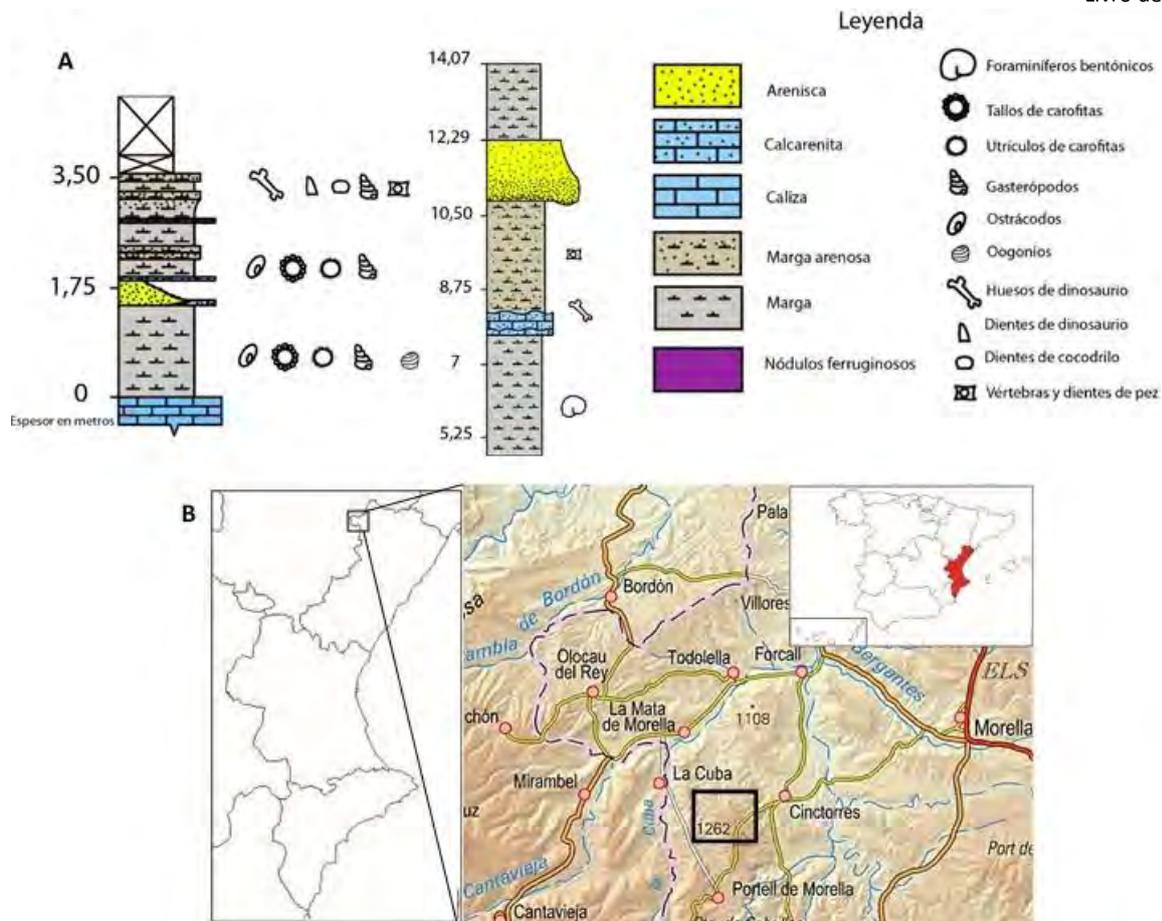


Figure 1: A., stratigraphic column of Mas de les Clapises 1 site. B., geographic setting of the site (mod. D-Maps and Spanish IGN).

DISCUSSION

The stratigraphic section was divided in six parts from bottom to top:

- MCL 1-1: it corresponds to grey homogeneous marls with detrital content and it is plenty of charophyte content like *Atopochara trivolvis* var. *triquetra* (F), *Asciadiella stellata* var. *stellata* (D), *Favargerella aquavivae* (B-C), *Charaxis baconicus* (E) and Cypridean ostracods (A) typical from freshwater shallow continental lakes. Identifications based on Martín-Closas, (2000). Sample in Fig. 2 (A-F).
- MCL 1-3: it is a calcarenite with ripples and low to mid angle cross-bedding structures interpreted as a paleochannel.
- MCL 1-4: this level is characterized by the presence of bigger sized charophytes than MCL 1-1 and a less diverse charophyte association formed by *Atopochara trivolvis* var. *Triquetra* (1-2), *Charaxis baconicus* (5), charophyte thallus (3) and Cypridean ostracods (4) from freshwater continental lakes similar to MCL 1-1. Sample in Fig. 2 (1-5).
- MCL 1-8: it consists of an ochre to purple detrital silt level with coarse to medium size quartz grain with massive iron oxides and kaolinite nodules interpreted as a lateritic soil (ferrosol)

with a nodular horizon, coherent with an emersion and the development of a paleosol in correlated formations of the Iberian Basin as proposed by Bauluz et al. (2014).

- MCL 1-9: Evidence of a high diverse paleoecological environment due to the presence of tooth from chondrichthyes (*Hybodontidae* indet., I-II) osteichthyes (Pycnodontiformes, III and *Amiidae*, IV) crocodylomorph tooth (VII and *Bernissartia* sp., VIII) and croneal plate fragments (VI) and dinosaur tooth fragments (*Baryonychinae* indet., IX-XI). It is interpreted as a shallow marine or lagoon environment. Identifications based on Canudo et al., (1996), Schudack & Schudack, (2009) and Puértolas-Pascual et al., (2015). Sample in Fig. 2 (I-XI).
- MCL 1-12: Carbonate detritic marls with benthic agglutinated foraminifera like *Choffatella* sp. (G) and *Ammobaculites*? (H-I), (Molina et al., 2017). This level is interpreted as a shallow marine platform environment. Sample in Fig. 2 (G-I).



Figure 2: Micropaleontological samples from MCL 1-1 (A-F), MCL 1-4 (1-5), MCL 1-9 (I-XI) and MCL 1-12 (G-F)

CONCLUSION

From micropaleontological, sedimentological and clay geological data it can be deduced that the materials from Mas de les Clapises section were deposited in tropical, warm and high humidity conditions or under a shallow sheet of water. It is also identified a progressive sea level rise from bottom to the top of the stratigraphic column, noticing that the paleoecological assemblages and the depositional environments changed from continental to shallow marine platforms.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study would not be possible without the contributions of Andrés Santos-Cubedo, Carlos Santisteban, Iñaki Canudo, Blanca Bauluz, Ana Cristina Azerêdo and the University of Zaragoza.

REFERENCES

- BAULUZ, B., YUSTE, A., MAYAYO, M.J., CANUDO, J.I., (2014) - Early kaolinization of detrital Weald facies in the Galve Sub-basin (Central Iberian Chain, north-east Spain) and its relationship to palaeoclimate. *Cretaceous Research*. 50. 214-227. 10.1016/j.cretres.2014.03.014.
- CANUDO, J.I., CUENCA-BESCÓS, G., RUIZ-OMEÑACA, J.I. (1996) - Tiburones y rayas (Chondrichthyes, Elasmobranchii) del Barremiense superior (Cretácico inferior) de Vallipón (Castellote, Teruel). *Beca del Museo de Mas de las Matas*, 1995.
- CLIMENT-DOMÈNECH, H., MARTÍN-CLOSAS, C., SALAS, R., (2009) - Charophyte-rich microfacies in the Barremian of the Eastern Iberian Chain (Spain). *Facies* 55: 387-400
- MARTÍN-CLOSAS, C. (2000) - Els carofits del Jurassic superior i el Cretaci inferior de la Península Ibèrica. Upper Jurassic and Lower Cretaceous charophytes from the Iberian Peninsula. Barcelona: *Arxius de les Seccions de Ciències*, 304 p.
- MOLINA, E., GOZALVO, C., AZANZA, B., ARENILLAS, I., ALEGRET, L., ARZ, J.A., ORTIZ, S., CANUDO, J.I., (2017) - Micropaleontología (3ª edición). *Prensas Universitarias de Zaragoza, Colección de textos docentes*, 93, 686p. ISBN 978-84- 16933-57-0.
- PUÉRTOLAS-PASCUAL, E., RABAL-GARCÉS, R. AND CANUDO, J.I. (2015) - Exceptional crocodylomorph biodiversity of “La Cantalera” site (lower Barremian; Lower Cretaceous) in Teruel, Spain. *Paleontologica Electronica*, 18.2.28a, 1-16.
- SCHUDACK, M.; SCHUDACK, U. (2009). - Ostracod biostratigraphy in the Lower Cretaceous of the Iberian chain (eastern Spain). *Journal of Iberian Geology* 35 (2) 2009: pp. 141-168.
- RIVELINE, J., BERGER, JP., BILAN, W., FEIST, M., MARTÍN-CLOSAS, C., SCHUDACK, M., SOULIÉ-MÄRSCHKE, I., (1996) - European Mesozoic–Cenozoic charophyte biozonation. *Bull Soc Géol France* 167:453–468.

Contexto geodinâmico das rochas vulcânicas da região de Viana do Alentejo

Geodynamic context of the volcanic rocks from the Viana do Alentejo region

P. Cachapuz^{1*}, M. Chichorro², T. Bento dos Santos^{1,3}, M. Benoit⁴, D.R. Carvalho¹, A.R. Solá⁵

¹ Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), Dep.de Geologia, Campo Grande, C6, 1749-016 Lisboa, Portugal

² GeoBioTec, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL), 2829-516 Caparica, Portuga

³ Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016, Lisboa, Portugal

⁴ Géosciences Environnement Toulouse (GET), Observatoire Midi Pyrénées, Université de Toulouse, CNRS, IRD, 14 Avenue E. Belin, Toulouse, F-31400, France

⁵ Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), 2720-866 Amadora, Portugal

* pedrofilipecachapuz@hotmail.com

Resumo:

As rochas vulcânicas da região de Viana do Alentejo correspondem a rochas félsicas e máficas geradas no Paleozoico inferior (Câmbrico?). As rochas máficas apresentam um carácter metaluminoso, sendo a grande amplitude em La/Lu_N e a presença de anomalias de Pb e P indicadoras de diferentes graus de contaminação crustal. Representam uma sequência transicional entre N-MORB e E-MORB. Como tal, são interpretadas como tendo sido geradas durante um episódio de contínuo adelgaçamento da crosta continental. Tal modelo é suportado também pelos dados das amostras félsicas onde foi possível discriminar 2 grupos distintos. As amostras do grupo II terão resultado da fusão da crosta inferior, tendo sido geradas numa fase inicial do estiramento crustal, enquanto as amostras do grupo I resultam da fusão da crosta superior, tendo-se formado nas etapas subsequentes por fusão de uma crosta mais adelgada.

Palavras-chave: Ciclo Varisco, Zona de Ossa-Morena, *rifting*, geoquímica.

Abstract:

The volcanic rocks from the Viana do Alentejo region consist of felsic and mafic rocks generated in the lower Paleozoic (Cambrian?). The mafic rocks show metaluminous character, with its great range in La/Lu_N and the presence of Pb and P anomalies being an indicator of different degrees of crustal contamination. The geotectonic diagrams show a transition from N-MORB to E-MORB. As such, these rocks are interpreted as being generated during an episode of continuous crustal thinning. Such model is also supported by data obtained in the felsic samples, where 2 distinct groups can be defined. Group II samples resulted from melting of the lower crust and were generated at an early stage of crustal stretching, whereas group I samples resulted from melting of the upper crust and would have been formed in the subsequent steps.

Key-words: Variscan Cycle, Ossa-Morena Zone, *rifting*, geochemistry.

Introdução

As rochas vulcânicas de Viana do Alentejo, no sector Montemor-Ficalho da Zona de Ossa-Morena (ZOM), SW do Maciço Ibérico fazem parte da formação dos Xistos de Moura (Carvalhosa, 1972). De acordo com Araújo *et al.* (2013), a formação dos Xistos de Moura corresponde a uma sequência deformada de micaxistos intercalados por rochas vulcânicas máficas e félsicas, apresentando também liditos, xistos negros, níveis carbonatados e rochas metamórficas de alta pressão (xistos azuis e eclogitos). À formação dos Xistos de Moura é atribuída uma idade Ordovícica Superior a

Devónica Inferior (Piçarra, 2000), sendo que dados geoquímicos, litostratigráficos e tectono-estratigráficos recentes, apoiados por geocronologia (U-Pb, zircão) em domínios adjacentes (Araújo *et al.*, 2005; Chichorro, 2006), sugerem que os metassedimentos e rochas vulcânicas de Viana do Alentejo podem ser incluídos nas sucessões do Paleozóico Inferior do Complexo Vulcano-Sedimentar de Ficalho-Moura (CVSFM), incluídos na Cintura Metamórfica de Évora-Aracena. Este trabalho tem como objetivo fornecer dados geoquímicos que permitam caracterizar as rochas em estudo e, posteriormente, compará-las com os domínios adjacentes.

Geoquímica

Foram analisadas 17 amostras (12 máficas e 5 félsicas) no ActLabs (Ontário, Canadá) com recurso a ICP-OES para os elementos maiores e ICP-MS para menores e traço. As análises isotópicas de Sr e Nd foram realizadas no laboratório Géosciences Environnement Toulouse - Observatoire Midi-Pyrénées (GET-OMP), em Toulouse, França. As rochas félsicas apresentam $\text{SiO}_2 = 71 - 88\%$, correspondendo a riolitos, enquanto as máficas apresentam $\text{SiO}_2 = 42 - 51\%$, projetando-se maioritariamente no campo dos basaltos. Estas últimas apresentam um forte carácter metaluminoso, projetando-se na transição entre a série calco-alcalina e a série toleítica no diagrama AFM, enquanto as félsicas formam uma sequência calco-alcalina, peraluminosa (Fig. 1a). No que respeita aos REE (Fig. 1b), as máficas apresentam um padrão “em leque” com $(\text{La/Lu})_N = 0.47-13.46$. Por sua vez, as félsicas apresentam razões $(\text{La/Lu})_N$ entre 1.05 e 9.9, sendo possível discriminar 2 grupos distintos, um grupo enriquecido em HREE ($\text{HREE}_t = 24.3 - 27.2 \text{ ppm}$) e outro mais empobrecido ($\text{HREE}_t = 9.2 - 9.4 \text{ ppm}$).

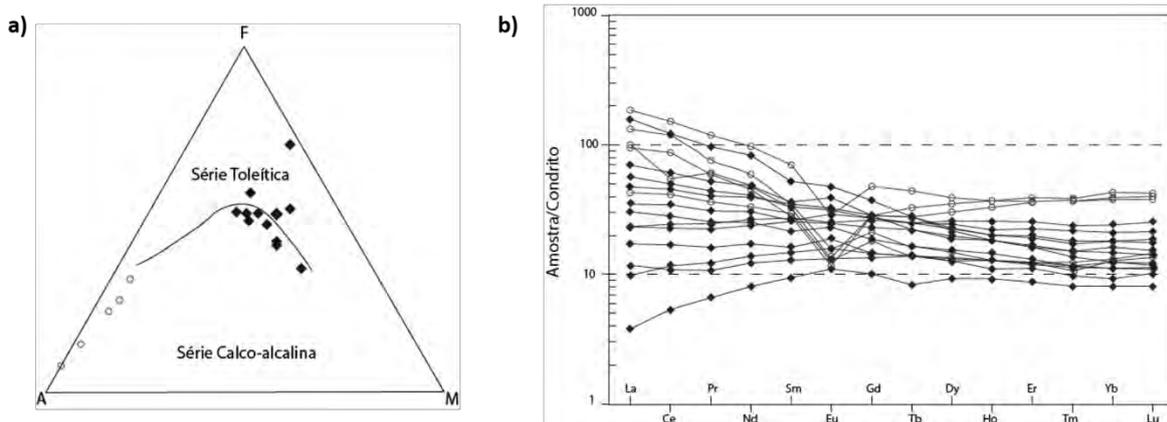


Fig. 6 - a) Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971); b) Padrões REE, normalizados ao condrito (McDonough & Sun, 1995) . ■ – Rochas máficas; ○ - Rochas félsicas

Nos spidergrams, constata-se um ligeiro enriquecimento em LILE comparativamente aos HFSE nas litologias máficas, sendo que nestas se observa uma maior dispersão nos LILE e um padrão mais aplanado, e com grande correlação para os HFSE relativamente aos N-MORB.

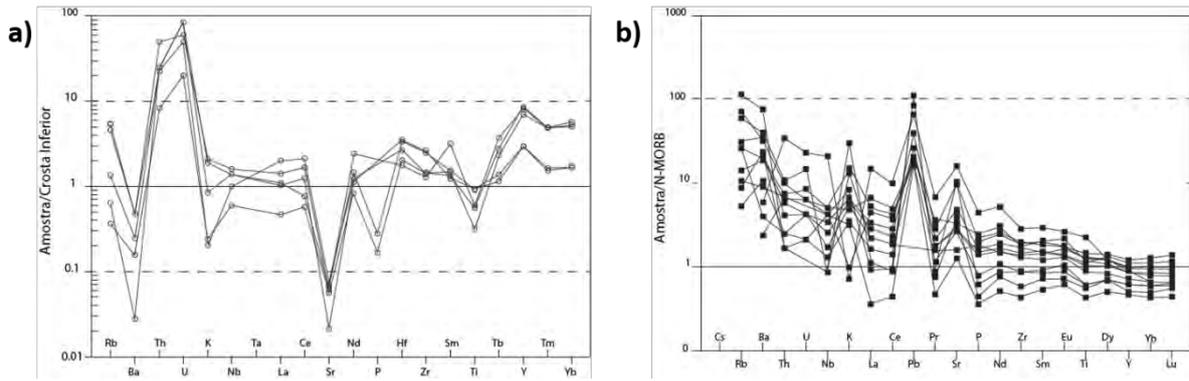


Fig. 7 – a) Diagrama multielementar para as rochas félsicas; b) Diagrama multielementar para as rochas máficas.

Nos diagramas discriminantes é possível distinguir 2 grupos de amostras félsicas (Fig. 3c): um que se projeta no campo ORG (Ocean Ridge Granites) e outro que se projeta nos VAG (Volcanic Arc Granites). Por sua vez, a maioria das amostras básicas projetam-se no campo MORB, na transição entre N-MORB e E-MORB (Fig. 3b), embora algumas amostras se projetem nos campos WPT (Within Plate Tholeiites) e IAT/CAB (Island Arc Tholeiites/Continental Arc Basalts) (Fig. 3a).

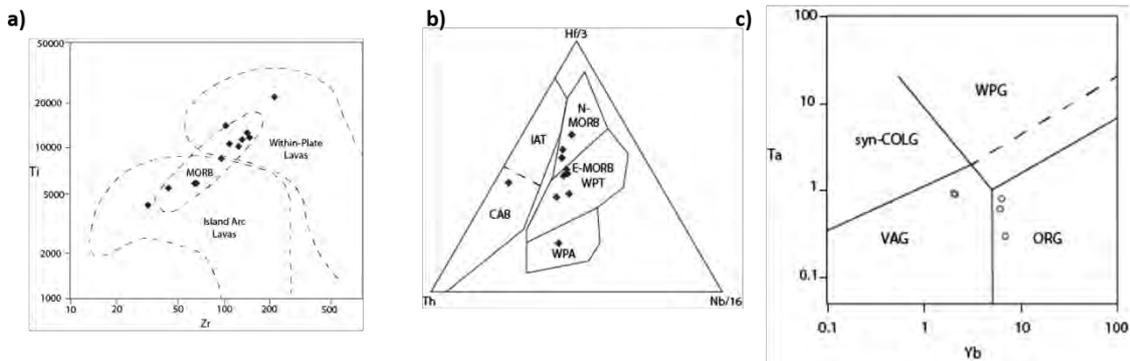


Fig. 8 – Diagramas discriminantes: a) Ti-Zr (Pearce, 1982); b) Th-Hf-Nb (Wood, 1980); c) de Pearce *et al.* (1984).

Todas as amostras foram alvo de análises isotópicas, sendo que a sua análise preliminar permitiu obter uma errócrona Rb-Sr de 512.6 Ma e uma errócrona Sm-Nd de 540.5 Ma nas rochas básicas. Nas rochas félsicas obteve-se apenas uma errócrona Rb-Sr de 596.5 Ma.

Discussão e Conclusão

Com base nos dados apresentados, pode-se afirmar que as rochas básicas analisadas aparentam ter um carácter toleítico, sendo cogenéticas entre si. A elevada variabilidade de $(La/Lu)_N$ verificada nestas rochas pode dever-se a 3 possíveis processos geológicos: cristalização fracionada, graus distintos de contaminação crustal ou heterogeneidade na fonte mantélica. A relação entre SiOs vs $(La/Lu)_N$, mostram que as amostras não apresentam uma tendência linear, como tal a cristalização fracionada dificilmente será a causa da grande variação das razões $(La/Lu)_N$. Como tal, e atendendo ao enriquecimento em LILE das amostras, bem como a presença de anomalias de Pb (positiva) e P

(negativa) e de diferentes graus de enriquecimento em Hf, Th e Ti, pode-se afirmar que estas rochas terão sido sujeitas a diferentes graus de contaminação crustal com participação de uma crosta heterogénea, num ambiente distensivo. Tal modelo de magmatismo em ambiente de Rift a Rift-to-Drift já havia sido proposto para explicar a génese de outras rochas máficas na ZOM (e.g.: Araújo *et al.*, 2005; Chichorro, 2006). Tal ambiente tectónico distensivo é corroborado pelo magmatismo félsico de idade Câmbrica, especialmente associado às rochas básicas (Chichorro *et al.*, 2008), bem como pelo desenvolvimento síncrono das sub-bacias em processos de rifting intracontinental expressa nas sequências sedimentares clásticas e carbonatadas (Oliveira *et al.*, 1991).

No que respeita às amostras félsicas, dado que as amostras do grupo I apresentam um carácter peraluminoso mais acentuado e uma maior percentagem de SiO₂ (87.8-88.2%), apresentando um maior empobrecimento em HREE, pode-se afirmar que estas terão resultado da fusão da crosta superior, tendo sido geradas numa fase avançada do estiramento crustal, em que o adelgaçamento progressivo da crosta permitiu a fusão de níveis mais superficiais. Por sua vez, as amostras do grupo II, mais pobres em SiO₂ (71.7-79%) e ricas em HREE, terão resultado da fusão da crosta inferior, tendo sido geradas numa fase mais precoce do estiramento crustal. Este modelo geodinâmico é suportado pelas idades obtidas pelas errócronas Rb-Sr e Sm-Nd (512.6 e 540.5 Ma). Estes resultados apontam para idades de cristalização entre o final do Neoproterozoico e o Câmbrico Inferior, período este associado aos primeiros estádios de rifting na margem peri-Gondwânica estruturada sob o efeito dos arcos vulcânicos Cadomianos e bacias back-arc aí desenvolvidas (Chichorro *et al.*, 2008).

Bibliografia

- 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.
- Araújo, A.A., Almeida, J.P., Borrego, J., Pedro, J., Oliveira, T. (2013). As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena. Universidade de Évora, 151-172.
- Carvalhosa, A.B. (1972). Estudo geológico-petrográfico da região de Viana do Alentejo-Alvito. *Bol. Soc. Geol. Portugal*, 18: 7-56.
- Chichorro, M.A.F.S. (2006). A evolução tectónica da zona de cisalhamento de Montemor-o-Novo (sudoeste da zona de Ossa Morena-área de Santiago do Escoural-Cabrela). Universidade de Évora.
- Chichorro, M., Pereira, M. F., Diaz-Azpiroz, M., Williams, I. S., Fernández, C., & Silva, J. B. (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(1-4), 91-113.
- Maniar, P., Piccoli, P., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, 101, 635-643.
- McDonough, W.F., Sun, S.S. (1995). The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120(3-4), 223-253.
- 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. SGP*, 77, 3-26.
- Pearce, J.A. (1982). Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries, *Lithos*, 525-548.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 4, 956-983.
- Piçarra, J. M. (2000). *Estudo Estratigráfico do Sector de Estremoz-Barrancos, Zona de Ossa Morena, Portugal*. Universidade de Évora, 268.
- Wood, D.A. (1980). The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, 42, 77-97.

Aplicação do Google Earth na divulgação da Geologia da Bacia Lusitânica (Portugal)

Application of *Google Earth* tools for Outreach and Education at the Lusitanian Basin (Portugal)

E. Gandaio¹, N. Pimentel¹

¹ Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

* emgandaio@gmail.com

Resumo: Este trabalho apresenta parte de um projecto que visa disponibilizar informação geológica em formato digital (cartas, Cortes, Logs, Fotos, etc.) através do *Google Earth*. São apresentadas as principais ferramentas e o tipo de informação que é possível colocar naquela plataforma de livre acesso, evidenciando o seu potencial em termos de divulgação e educação. Esta abordagem é ilustrada com o exemplo da região da Bacia Lusitânica, para a qual foram lançadas as cartas geológicas e diversa informação associada, devidamente georreferenciadas e acessíveis em *Google Earth*.

Palavras-chave: *Google Earth*; Geologia; Cartas; Cortes

Abstract: This work presents part of a Project aiming to make geological information (Maps, Sections, Logs, etc.) accessible through the *Google Earth* platform. The main tools and information-type are presented, showing its potential for Outreach and Education. This approach is illustrated with the example of the Lusitanian Basin, with Geological Maps and related information, plotted and accessible through *Google Earth*.

Key-words: *Google Earth*; Geology; Maps; Sections

INTRODUÇÃO

A boa comunicação do conhecimento científico aliada à tecnologia de informação digital é uma boa chave e uma ferramenta essencial para que a ciência chegue ao público em geral. Com este trabalho propõe-se um veículo de comunicação simples, eficaz e de qualidade, de informação geológica georreferenciada e acessível à generalidade da população, bem como a investigadores, docentes e alunos dos diferentes graus de ensino. Este trabalho recorre ao *Google Earth Pro*, por ser um software gratuito, de simples acesso e fácil de utilizar para fazer chegar a informação a todo o público (Pimentel, 2006; Lisle, 2006; Whitmeyer *et al.* 2012; Pimentel, 2019).

O trabalho conjunto foi desenvolvido no âmbito da disciplina de Projeto do 4º Ano da Licenciatura em Geologia da FCUL (Teotónio *et al.*, 2019), abarcando mais de metade do território português continental, apresentando-se aqui a parte referente à Bacia Lusitânica.

METODOLOGIA

As seguintes funcionalidades do *Google Earth* foram utilizadas para alcançar os objetivos deste trabalho: i) *Basemap* tridimensional, constituído por imagens satélite com o sistema de coordenadas WGS84; ii) *Sobreposição de imagem*, permitindo a importação e georreferenciação de imagens (cartas geológicas e mapas paleogeográficos) em formato .jpeg ou semelhante e a aplicação

transparências; iii) *Lugar*, permitindo adicionar informação gráfica (logs, fotos) ou escrita a pontos georreferenciados; iv) *Street views*, permitindo “transportar” o utilizador até ao local no terreno; ; iv) Caminho, permitindo marcar um traço e adicionar o respectivo corte geológico; v) *Gravação de vôo*, permitindo simular um vôo sobre uma região (com ou sem informação geológica adicionada).

As imagens retiradas de arquivos digitais em PDF foram sujeitas a algum tratamento gráfico, visando a sua melhor qualidade. Para tal recorreu-se aos softwares *Nomacs* (para tratamento de imagem), *PaintNET* (edição de imagem), *I Love PDF* e *Small PDF* (apps online para conversão de ficheiros PDF noutros formatos).

DESENVOLVIMENTO

Recorrendo a estas ferramentas, procedeu-se ao lançamento georreferenciado de informação geológica diversa, nomeadamente:

i) Cartas Geológicas 1:50.000: recorrendo à “sobreposição de imagem” (Fig.1), foram lançadas as 17 Folhas que cobrem a região da Bacia Lusitânica (16A; 16C; 19C; 19D; 22B; 23A; 23C; 26B; 26C; 27A; 27C; 30A; 30B; 30C; 34B; 34C; 34D; 34A); por cada Folha foi criada uma Pasta, na qual foram depois inseridos os outros arquivos digitais (cortes, imagens, etc.)

ii) Cortes geológicos associados às Cartas; recorrendo ao “Caminho” foram assinalados 15 cortes sobre as cartas e ao clicar sobre o corte, o utilizador acede à respetiva imagem (Fig. 2);

iv) Logs: foram retirados 7 logs litoestratigráficos das Cartas, marcados no canto da respectiva carta com um ícone e ao clicar nele acede-se à respectiva imagem (Fig.3);

v) Fotos de campo, lâminas, etc.: as fotos e esquemas recolhidos foram associadas a um ícone georreferenciado, no qual clicando se acede à respectiva imagem.

vi) *Street views*: foram marcadas 36 vistas de afloramentos no terreno, em taludes de estrada, criteriosamente escolhidos em zonas de fácil acesso, com litologia representativa da geologia local.

vi) Vôos gravados: foram gravados 13 vôos com recurso a uma mesa gráfica com a funcionalidade de gravação do *Google Earth Pro*; os locais de vôo foram criteriosamente escolhidos ao longo da costa para mostrar passagens entre andares, influências estruturais sobre a geologia, encaixe de filões, etc..

vii) Mapas paleogeográficos com quadro litoestratigráfico associado (Pena dos Reis et al., 2011) (Fig.4).

Toda esta informação e a sua operacionalização inter-activa em *Google Earth* encontra-se arquivada em formato digital, devidamente organizada em diferentes pastas, podendo ser enviada ou reproduzida em qualquer lugar do mundo, ou até mesmo ser disponibilizada *on-line* para todos, num qualquer servidor a definir.

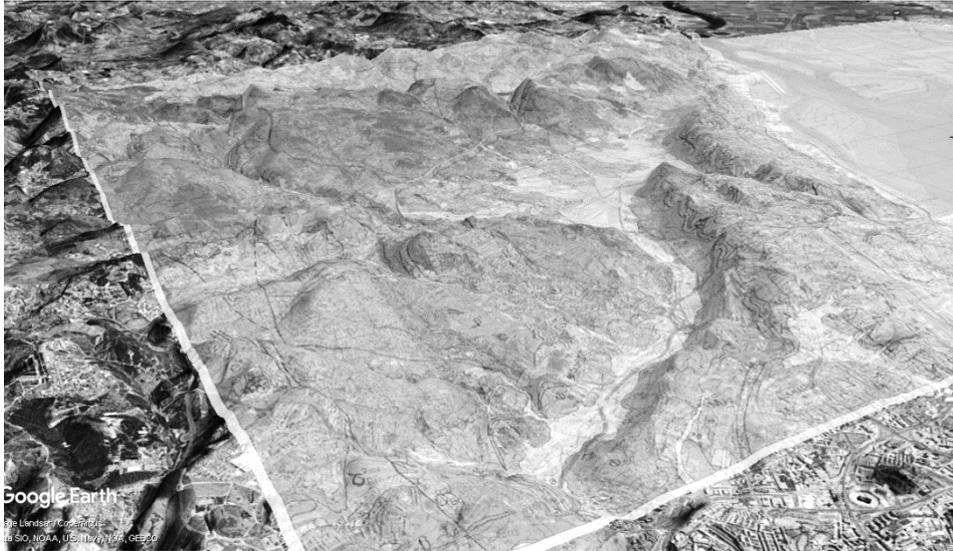


Figura 1 - Carta Geológica 1:50.000, Folha 34-B (Loures), sobreposta ao terreno em Google Earth; vista aérea para NE (costeiras de Loures ao centro e planície aluvial do Tejo à direita), altitude de 7 km, sobre-elevação 3X, com transparência de 50%.

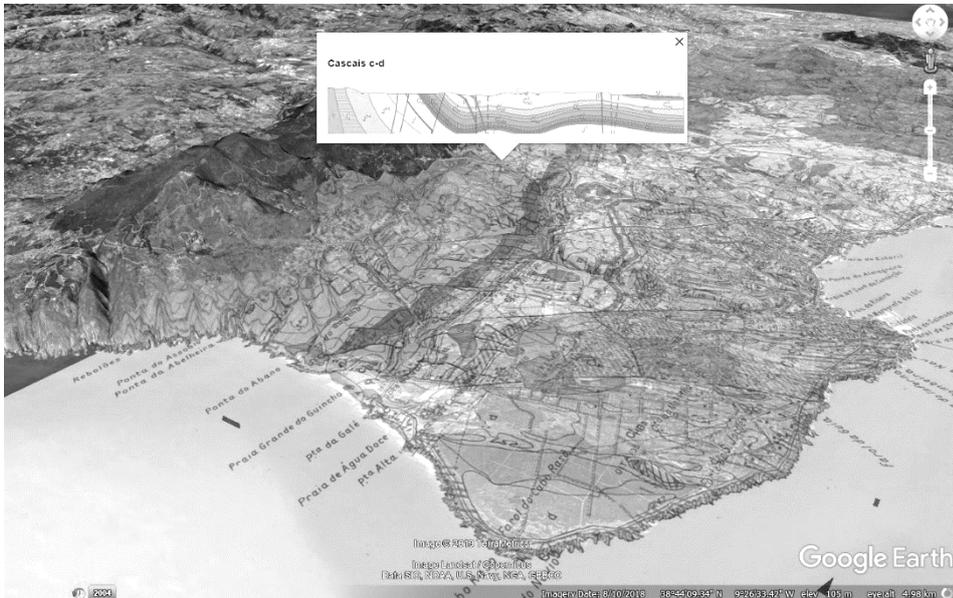


Figura 2 - Carta Geológica 1:50.000, Folha 34-C (Cascais), sobreposta ao terreno em Google Earth; vista aérea para ESE, altitude de 5 km, sobre-elevação 3X, com transparência de 20%. Está marcada a localização do Corte "Cascais c-d" (Serra de Sintra – Estoril), retirado da Folha 34-C

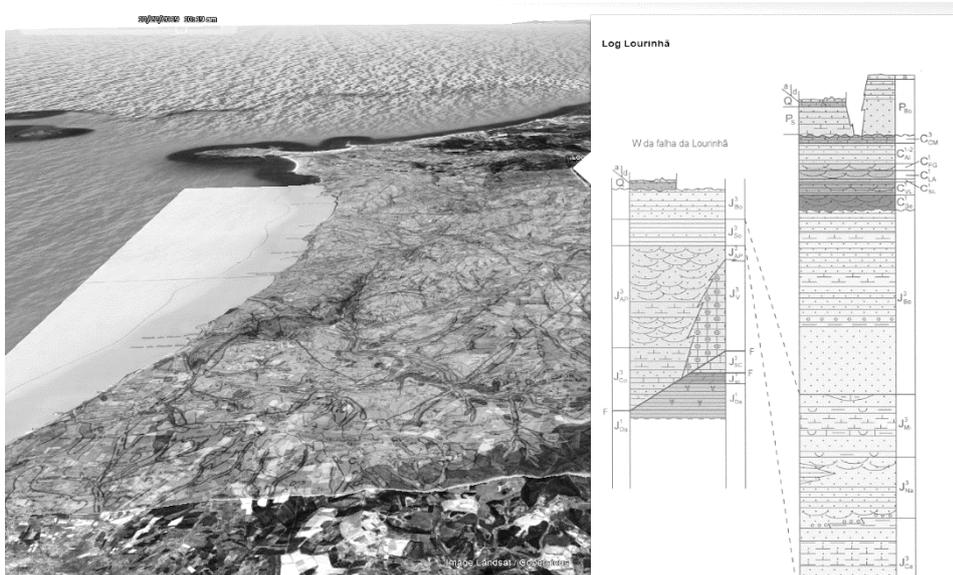


Figura 3 - Carta Geológica 1:50.000, Folha 30-A (Lourinhã), sobreposta ao terreno em Google Earth; vista aérea para N, altitude de 10 km, sobre-elevação 3X, com transparência de 50%. Inserção do Log litostratigráfico da Folha 30-A.



Figura 2 - Paleogeografia da Bacia Lusitânica no Aptiano terminal – Turoniano (in Pena dos Reis et al., 2011). Vista aérea, altitude de 330 km, oblíqua para Norte, com transparência de 50%.

CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido evidencia as potencialidades da utilização do *Google Earth* para tornar a informação sobre a Geologia do território português mais acessível ao público em geral e às comunidades escolares (docentes e alunos) em particular. A disponibilização dessa informação para ser utilizada numa plataforma de fácil acesso e manuseamento, permitirá uma maior familiarização de todos com a geologia da sua região. O facto de se poder aceder de um modo inter-activo, já que se pode “passear” virtualmente pelos locais e mudar de ponto de vista, contribui também decisivamente para um maior envolvimento do utilizador com a informação disponibilizada. A desejável extensão deste projecto-piloto a todo o território português (incluindo as ilhas), permitirá um acesso mais generalizado do público à informação geológica existente acerca de cada região, contribuindo assim para uma maior proximidade com o seu território.

Bibliografia

- Google Earth – <https://www.google.com/earth/>
- LISLE R.J. (2006). Google Earth: a new geological resource. *Geology Today*, 22(1): 29-32.
- LNEG – Carta Geológica de Portugal na Escala 1:50.000. Folhas (indicadas no texto) e respectivas Notícias Explicativas.
- PENA DOS REIS, R.; PIMENTEL, N.; GARCIA, A.J.V. (2011) - A Bacia Lusitânica (Portugal): Análise estratigráfica e evolução geodinâmica. *Boletim de Geociências, Petrobras*, vol. 19 (1/2), 23-52.
- PIMENTEL N. (2006). Navegando por los paisajes del mundo con Google Earth. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, AEEPCT*, vol. 14.4, p.85-88. <https://www.researchgate.net/publication/337172171>
- PIMENTEL N. (2019). A Geologia de Portugal e do mundo... à distância de um click! Workshop no VI Encontro Internacional “Casa das Ciências”, FCUL-Lisboa, EDULOG – Fundação Belmiro de Azevedo. <https://www.researchgate.net/publication/337171892>
- TEOTÓNIO, P.; GANDAIO, E.; RODRIGUES, F.; MENDES, D. (2019) – Atlas Ilustrado da Geologia de Portugal. Rel. Projecto, GeoFCUL, 30 pp.
- WHITMEYER S.J., BAILEY J.E., DE PAOR D.G., ORNDUFF T. [Eds.] (2012). Google earth and virtual visualizations in geoscience education and research. *Geological Society of America Special Papers*, Volume 492, Boulder, USA.

A linguagem Não Formal e a utilização de uma linha de discurso narrativa – storytelling – no contexto das actividades do Centro Ciência Viva de Estremoz

Non Formal language and the use of a narrative speech - storytelling - in the context of the activities of the Centro de Ciência Viva de Estremoz

A. Paiva^{1*} em representação da equipa do CCVEstremoz

¹ Centro Ciência Viva de Estremoz

* apaiva@estremoz.cienciaviva.pt

Resumo

No ensino e divulgação das ciências, o ensaio de novas abordagens pedagógicas é sempre uma constante. Actualmente, a aprendizagem fomentada a partir de substrato narrativo – o conhecido *storytelling* – em prática já consistente nos campos das Artes e Estudos Sociais, começa a ganhar terreno no âmbito das Ciências Naturais. No Centro Ciência Viva de Estremoz [CCVEstremoz], ao longo dos anos anteriores, têm sido encetadas várias iniciativas que seguem esta linha educativa: a partir de um suporte textual, e munindo-se de uma linguagem Não Formal, procura construir-se um contexto mais palpável de significação do fenómeno explicado na actividade experimental. O presente artigo procura descrever, nos seus traços-forte, os projectos deste cariz em vigor no CCVEstremoz, conferindo ênfase especial aos projectos de futuro, no campo do Ensino das Geociências e da divulgação das Ciências da Terra, através de actividades de *storytelling*.

Palavras-chave: storytelling; CCVEstremoz, linguagem Não Formal; Ensino das Geociências

Abstract:

In science teaching and communication, the application of new pedagogical approaches is always under discussion. Today, the learning anchored in a narrative substratum – the well-known *storytelling* – already in consistent practice within the fields Arts and Social Studies, is beginning to claim its ground within the Natural Sciences. In the Centro Ciência Viva de Estremoz [CCVEstremoz], over the previous years, several projects that follow this educational line have been promoted: providing the experimental activity with textual support, and using a Non Formal language, we try to build a more palpable/meaningful context of understanding the phenomenon explained. This article seeks to describe, in its strong features, such projects, giving special emphasis on future projects to be developed by the institution in the field of Geoscience Teaching and the promotion of Earth Sciences through *storytelling* activities.

Key-words: storytelling, CCVEstremoz, Non Formal Language, Geosciences Teaching.

INTRODUÇÃO

O ensino, não exclusivamente nos primeiros anos escolares, e por motivos externos e sistémicos, enfrenta uma miríada de desafios, seguramente exigindo dos professores uma “nova” criatividade. Na linha do que tem vindo a ser feito no panorama educativo, diferentes abordagens discursivas surgem assim como acrescento à aprendizagem clássica de “sala de aula”, desempenhando os Centros de Ciência Viva, ainda que marginalmente, um papel importante no reforço à estrutura

escolar. Aliando os recursos da moderna museologia científica a uma linguagem dita Não Formal, a transmissão do conhecimento científico torna-se facilitada, sendo também por isso valorizada (Philip, 2012). No Centro Ciência Viva de Estremoz, entre outras metodologias, é pela aposta numa linha narrativa de discurso – “contando histórias” – que se procura transmitir o conhecimento geológico.

ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Bruner (Bruner, 1996) definiu dois modos de pensar: o paradigmático e o narrativo. Ao passo que o modo paradigmático de pensar tem a sua natureza na razão, no “logos” (sendo o modo de resolução de problemas científicos), o modo narrativo de pensar é *action-oriented*, influenciado pelos sentimentos e emoções (Murman & Avraamidou, 2013). O modo de pensamento narrativo, contudo, representa o modelo humano de pensamento por defeito, pois é a narrativa que confere uma estrutura à realidade emergente e serve de fundação primeira à memória (Engel *et al.*, 2018). E pensando nas franjas etárias mais novas, é sabido que construindo um substrato narrativo adequado – por exemplo um exercício *storytelling* – os alunos apreendem e elaboram mais rapidamente ligações entre os fenómenos do dia à dia e as actividades desempenhadas na sala de aula, num processo holístico e efectivo (Morais, 2015). Noutras palavras, o contar de histórias possibilita aos alunos, a partir do seu enquadramento cultural, o desenvolver de diferentes realidades imaginativas, bem como a autonomia de raciocínio e de descoberta dos fenómenos, inclusive dos mais complexos (Saçkes *et al.*, 2009). Tal revela-se extremamente importante no campo das Ciências Naturais, não excluindo, certamente, o ramo das Ciências da Terra.

O CONTEXTO E AS ACTIVIDADES PROMOVIDAS PELO CCVESTREMOZ

Dos projectos em funcionamento no CCVEstremoz, dois estão intimamente relacionados com a utilização de um suporte narrativo para a divulgação científica: o projecto **Contos, Lendas e outras Lengalengas com Ciência (A)** e o projecto **Escola Ciência Viva do CCVEstremoz (B)**. Procurar-se-á, em breve, estudar a influência de um terceiro projecto **(C)**, exclusivamente dedicado ao Ensino em Geociências, suportado pelo *storytelling*. Em seguida, apresenta-se uma descrição sumária dos principais atributos de **(A)**, **(B)** e **(C)**, das metodologias utilizadas e dos resultados obtidos; dar-se-á particular destaque a **(C)**.

A – Contos Lendas e Outras Lengalengas com Ciência

A actividade é gratuita, decorre num sábado a cada mês, e é dinamizado pelos Comunicadores de Ciência do CCVEstremoz, para um público essencialmente “familiar”. A actividade experimental é “introduzida” pela leitura de peça literária (ou trecho de obra maior seleccionada) que contenha a ciência em causa. No ano lectivo de 2017-2018 foi ensaiada uma investigação, no âmbito do

projecto, de levantamento das representações do público participante face aos temas “Escrita” e “Ciência”, com o intuito de promover/recriar uma simbiose entre peça de leitura e procedimento experimental (embora se tenham recolhido dados de questionários, a avaliação foi essencialmente qualitativa). O projecto contou com 54 participantes e recolheu resultados interessantes, não sendo no entanto viável a produção de um estudo mais completo.

B – Projecto Escola Ciência Viva do CCVEstremoz

Em funcionamento no CCVEstremoz desde inícios de 2019, com turmas do 1º Ciclo de Escolaridade do concelho de Estremoz. Propõe um conjunto de actividades e um tema-projecto para três dias – baseadas num “conto-manual”, suporte narrativo de complemento aos temas abordados nos manuais utilizados em “sala de aula”; a sua escrita contemplou a inclusão seleccionada dos *curricula* definidos para o ano lectivo em causa (no caso do conto-manual em vigor, “O moinho da meia porta e o casaco da cor da lua”, o 1º ano de escolaridade). O “conto-manual” segue os arquétipos do texto infanto-juvenil e assenta numa série de critérios científicos, descrevendo-se todos os fenómenos naturais de acordo com a realidade. Munido-se de actividades do tipo *hands-on* (Morais, 2015), a Escola Ciência Viva do CCVEstremoz constituiu um reforço ao trabalho escolar, fomentando uma aprendizagem interdisciplinar, de utilização do método científico para a resolução autónoma de problemas práticos e experimentais. Durante o ano lectivo transacto, o projecto recebeu um total de 353 alunos. Inspirados noutras pedagogias (Murman & Avraamidou, 2013) procurou-se avaliar parâmetros como “é o suporte narrativo uma ferramenta de ensino?”, “sentiram-se os alunos “participantes” da história?” e “como é que os professores e alunos responderam ao contexto em que a narrativa, e as subsequentes actividades experimentais, tomaram lugar?”, salientam-se dois resultados: 95 % de – alunos que, no primeiro dia de actividades, sentiram que “ouvir o início da história lhes fazia querer ler o resto”; 94% de – professores que classificaram o projecto como uma mais-valia no desenvolvimento de estratégias de integração de conteúdos pluridisciplinares. Conhecem-se as limitações dos estudos deste cariz (sobretudo por tomar lugar num contexto muito específico e a escala reduzida).

C – O ensino das Geociências através do *storytelling*; o exemplo de “O diamante roubado”

Inspirado em ideias anteriores e no âmbito do projecto “Estórias com Histórias de Ciência”, promovido pela Universidade de Évora, e por comemorações da Noite Europeia do Investigador, foi construída uma actividade de classificação de areias exclusivamente baseada em *storytelling* – “O diamante roubado”. A partir de modelos de construção de narrativa explanados em Murman & Avraamidou (2013) foi concebida uma história-enunciado de estrutura *inquiry based-learning*, envolvendo os alunos participantes directamente na narrativa; a história, de cariz detectivesco,

descreve um roubo de um diamante escondido depois num terreno arenoso. A actividade impele os alunos a construir uma experimentação/argumentação justificada e autónoma; distribuídos em grupos, e enquanto responsáveis pela análise tabelada de uma amostra de areia, baseando-se em evidências textuais e experimentais, cada grupo argumenta se areia analisada constituiu, ou não, uma prova do local do crime. Embora tenham sido distribuídos questionários de avaliação entre os 12 participantes (de idades entre os 8 e 13 anos de idade) a avaliação foi essencialmente do tipo qualitativo. A totalidade dos participantes, no entanto, argumentou ter aumenato os conhecimentos a nível sedimentológico (de classificação de areias) e sentiu que “a apresentação da actividade através de uma história tornou a actividade mais divertida/intrigante”.

CONCLUSÕES

No panorama escolar vigente, a pertinência dos estudos levados a cabo na área do *storytelling* prende-se sobretudo com capacidade imersiva deste tipo de suporte no que toca ao envolvimento do aluno na actividade, afastando o tratamento factual dos conteúdos e promovendo uma construção de conhecimento mais interdisciplinar. Na linha do que tem vindo a ser desenvolvido nas instalações do CCVEstremoz, e graças aos bons resultados obtidos e já apresentados a partir de **B**, será de intento futuro construir/promover um conjunto de actividades do tipo **C**, exclusivamente de cariz geológico e no âmbito do *storytelling*, de modo a elaborar-se um estudo sobre as mais-valias/limitações destes suportes, com vista a diversificar ainda mais o espectro de acção/papel dos Centros de Ciência Viva diante e para a comunidade escolar.

AGRADECIMENTOS

À equipa do CCVEstremoz, em particular à Vânia e à Adelina (mentoras do projecto da Escola Ciência Viva do CCVEstremoz), e Eduardo, Cristina, Adriana, Francisco, Mário, Ilda, Susana, Alexis, Rui e Isabel.

BIBLIOGRAFIA

- BRUNER, J. S. (1996); *The Culture of Education*, Cambridge, MA/London, Harvard University Press
- ENGEL, A., LUCINDO, K., COOK, K. (2018); *Rethinking Narrative: Leveraging storytelling for science learning*, Childhood Education.
- MORAIS, C. (2015); *Storytelling with Chemistry and Related Hands-On Activities: Informal Learning Experiences To Prevent “Chemophobia” and Promote Young Children’s Scientific Literacy*, Journal of Chemical Education.
- MURMAN, M., AVRAAMIDOU, L. (2013); *Animals, Emperors, Sense: Exploring a Story-based Learning Design in a Museum Setting*, International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement
- PHILIPS, J. (2012); *Storytelling in Earth sciences: The eight basic plots*, Earth Science reviews, Elsevier.
- SAÇKES, M., TRUNDLE K., FLEVARES L. M. (2009) *Using children Literature to Teach Standard-Based Science Concepts in Early Years*; Early Childhood Educational Journal.

Utilização da suscetibilidade magnética para a deteção de traçadores magnéticos em estudos de dinâmica sedimentar costeira

Use of magnetic susceptibility for detection of magnetic tracers in studies of coastal sedimentary dynamics

A. F. Fernandes^{1*}, S. Silva¹, J. Francisco Duarte¹, J. Pombo¹, M. Ribeiro¹, A. Bizarro¹,
A. Vinhas¹

¹ Instituto Hidrográfico, Geologia Marinha, Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

* filipa28f@gmail.com

Resumo: Este trabalho apresenta os resultados preliminares de uma experiência de traçadores sedimentares magnéticos, realizada na Costa Nova (Aveiro), no âmbito do projeto SandTrack. O traçador foi injetado na praia submersa e a avaliação do seu deslocamento foi realizada a partir da medição das propriedades magnosuscetométricas dos sedimentos. Os valores de suscetibilidade magnética das amostras colhidas sugerem que o deslocamento de traçador foi pouco significativo e que este não terá chegado à praia emersa durante os dias em que decorreu a campanha.

Palavras-chave: suscetibilidade magnética, sedimentos, traçador sedimentar

Abstract: This work presents the preliminary results of an experiment of magnetic sedimentary tracers, carried out at Costa Nova (Aveiro), as part of the SandTrack project. The tracer was injected in the submarine beach and the evaluation of its displacement was performed by measuring the magnosuscetometric properties of sediments. The magnetic susceptibility values of the sediment samples suggest that tracer displacement was not significant and did not reached the emerged beach during the campaign.

Key-words: magnetic susceptibility, sediments, sediment tracer

INTRODUÇÃO

O litoral de Aveiro tem sido alvo de alimentações artificiais para corrigir o equilíbrio sedimentar do sistema, tendo a maioria destas intervenções sido realizadas na praia submersa (Pinto *et al.* 2018).

O projeto SandTrack - Alimentação artificial das praias: uma metodologia integrada de suporte à gestão litoral, tem como objetivo estudar a eficiência deste tipo de alimentação, contribuindo para a otimização de futuras intervenções. Para cumprir este objetivo foi realizada uma experiência de traçadores sedimentares, entre os dias 8 e 12 de julho de 2019, na praia da Costinha na Costa Nova (Aveiro), tendo como objetivo avaliar a deslocação espaço-temporal dos sedimentos, utilizando dois tipos de traçadores: fluorescente e magnético. A utilização de traçador fluorescente é relativamente comum neste tipo de trabalhos, contudo, devido às dificuldades de amostragem na praia submersa é apenas utilizado na parte emersa do perfil de praia. Acresce ainda a desvantagem de ser necessário, uma amostragem exaustiva, para resolver adequadamente o comportamento do traçador, seguido de um demorado processo de análise laboratorial para medição de concentração de grãos. No

presente caso, esta técnica foi utilizada conjuntamente com um traçador magnético, ou seja, areias marcadas com tinta magnética, nunca testado em contextos de avaliação da dinâmica sedimentar de praia. As vantagens deste método são, à partida, a possibilidade de medição direta *in situ* do traçador e a avaliação imediata do seu deslocamento. Para validar os resultados obtidos a partir do traçador magnético utilizaram-se simultaneamente traçadores fluorescentes. Neste trabalho, é apresentada a metodologia de medição das propriedades magnetosuscetométricas do traçador magnético e os resultados preliminares obtidos.

METODOLOGIA

O traçador utilizado nesta experiência foi preparado a partir das areias provenientes de dragados do porto de Aveiro, que são utilizadas na alimentação artificial. Na praia submersa, a uma profundidade de 5 m (relativa ao ZH), colocou-se 1 tonelada (T) de traçador pintado com tinta magnética e 1T de traçador pintado com tinta fluorescente laranja.

Na campanha, foram realizados levantamentos topográficos, medição *in situ* das propriedades magnéticas (campo magnético e suscetibilidade magnética) e amostragem na praia submersa e na praia emersa. Relativamente às propriedades magnéticas, o campo magnético (CM) foi medido com um magnetómetro G-858 terrestre da Geometrics® e com um magnetómetro marinho SeaSpy da Marine Magnetics®, e a suscetibilidade magnética (SM) foi medida utilizando um equipamento portátil da Bartington® Instruments equipado com um sensor MS2D. Todos os levantamentos foram posicionados utilizando um sistema GNSS com correção diferencial. O magnetómetro SeaSpy foi utilizado na praia submersa realizando-se levantamentos paralelos à linha de costa de 20 em 20 m e o magnetómetro G-858 na praia emersa, realizando-se também levantamentos paralelos à linha de costa, nas unidades morfodinâmicas da praia. As medições com o sensor MS2D foram realizadas ao longo de perfis transversais à linha de costa de 25 em 25 m nas unidades morfodinâmicas da praia distintas. Em cada unidade foram realizadas 3 medições e amostragem de sedimento.

Após a amostragem da praia emersa e submersa (nesta última com recurso a um colhedor Petite Ponar), foi efetuada a medição da SM em laboratório de campanha recorrendo ao sensor MS2B da Bartington® Instruments. A técnica utilizada incluiu a homogeneização das amostras e subsequente acondicionamento em provetes cilíndricos adequados ao sensor, tendo sido executado um mínimo de 3 medições por provete.

A medição da SM foi realizada antes, para caracterização da situação de referência, e após a colocação das areias marcadas, com o objetivo de monitorizar o deslocamento diário do traçador em toda a praia. No total foram analisadas 72 amostras com o sensor MS2B, 57 amostras recolhidas na praia submersa e 15 amostras na praia emersa e efetuadas 50 medições diretas com o MS2D na praia

emersa. A tabela 1 sintetiza os trabalhos da campanha no respeitante às medições realizadas das propriedades magnéticas ao longo dos dias.

Tabela 1- Resumo dos trabalhos de campanha relevantes para a medição das propriedades magnéticas. SM – Suscetibilidade Magnética; CM – Campo Magnético

Local/ Dia	8 julho (Dia 1)	9 julho (Dia 2)	10 julho (Dia 3)	11 julho (Dia 4)	12 julho (Dia 5)
Praia Emersa	-Reconhecimento do local	- Medição SM e CM - Amostragem de referência	- Medição SM e CM - Amostragem	- Amostragem	-----
Praia Submersa	- Amostragem de referência	-Medição do CM de referência - Injeção dos Traçadores (Magnético e Laranja) - Amostragem	-----	- Medição do CM - Amostragem	- Medição do CM - Amostragem

RESULTADOS PRELIMINARES

Apresentam-se os resultados já analisados da SM, obtidos pelos sensores MS2B como do MS2D. A SM na praia submersa, medida pelo sensor MS2B, mostra que anteriormente à injeção dos traçadores os valores de SM são inferiores a $3,5 \times 10^{-5}$ SI. No dia 9, primeiro dia após injeção dos traçadores, foram colhidas 12 amostras, tendo sido detetadas duas destas com valores superiores às de referência. No dia 11, das 20 amostras colhidas, duas apresentam valores superiores a $4,8 \times 10^{-5}$ SI. No dia 12, foi colhido o mesmo número de amostras, destacando-se somente uma com um valor de $7,5 \times 10^{-5}$ SI, superior ao de referência (Figura 1).

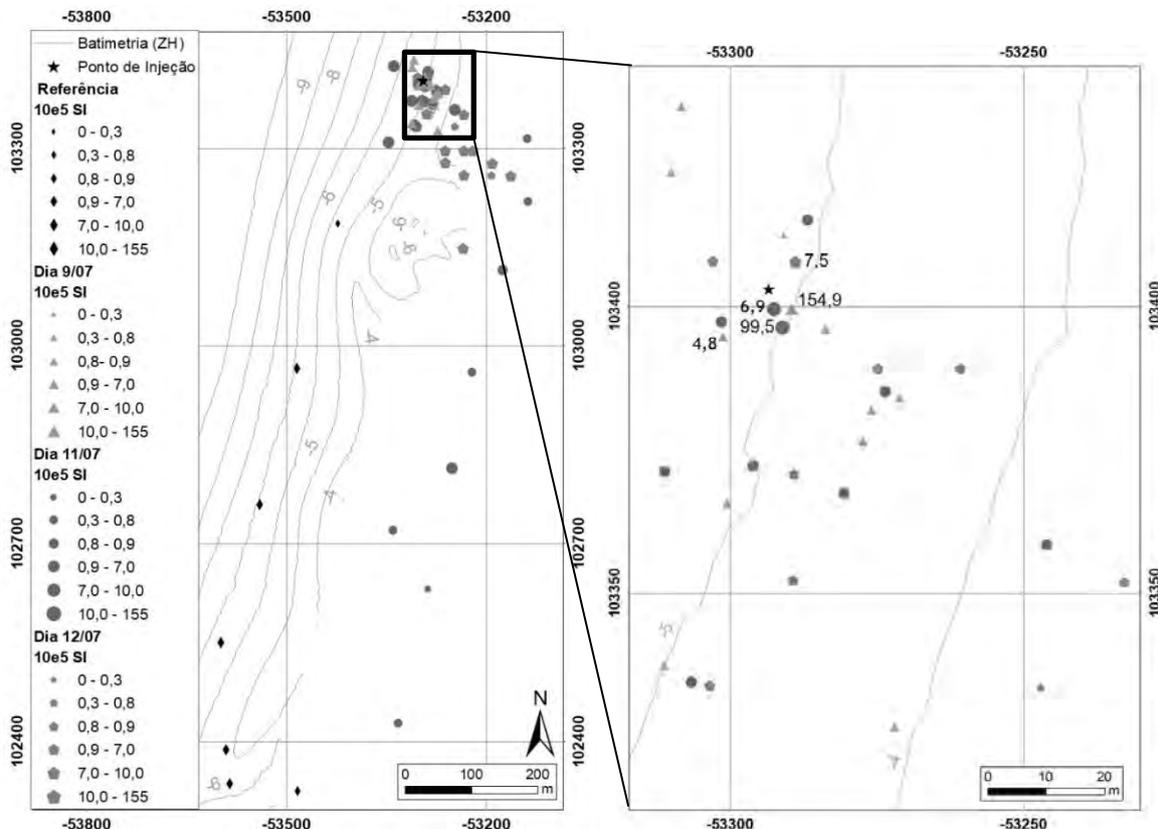


Figura 1- Representação da SM das amostras recolhidas da praia submersa, por dia de amostragem, assinalando as medições com maiores valores de SM ($\times 10^{-5}$ SI) - (Sistemas de coordenadas ETRS89 PM06).

Nas amostras de referência colhidas na praia emersa (dia 9), a SM medida com ambos os sensores é muito baixa. Devido aos valores significativamente baixos, obtidos nos dias 9 e 10, realizou-se uma pesquisa de grãos fluorescentes recorrendo a luz ultravioleta,. Como o resultado se revelou infrutífero optou-se por suspender as medições de SM na praia com o sensor MS2D.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As propriedades magnetosuscetométricas da praia submersa e emersa são muito distintas.

As areias nativas da praia submersa apresentam valores de SM elevados dificultando a deteção do traçador. Apenas 5 amostras da praia submersa têm valores de SM superiores aos valores de referência, encontrando-se muito próximas ao ponto de injeção, mostrando que, no período após a injeção (4 dias), o centro de massa da nuvem de traçador magnético não sofreu advecção significativa.

No que diz respeito à praia emersa, os valores de SM são similares aos de referência, em ambos os sensores, inferindo-se deste modo a inexistência de traçador magnético. As medições realizadas, *in situ* e após a amostragem no mesmo local, tiveram como finalidade a avaliação da capacidade de deteção do traçador magnético em ambas as condições. Comparando os resultados entre os sensores, não se verifica nenhuma correspondência na variação espacial da resposta da SM do sedimento, excetuando os valores máximos e mínimos que foram registados nas mesmas amostras.

Desta primeira análise conclui-se que a utilização de traçador magnético, para o estudo da dinâmica sedimentar da praia da Costinha, é uma metodologia que necessita de ser ajustada às propriedades magnéticas dos sedimentos em transporte neste troço litoral, cuja quantificação deverá ser sempre precedida de levantamentos de referência que incluam a praia submersa, de forma a caracterizar a assinatura magnetosuscetométrica de base dos sedimentos. Porém, ainda é necessário analisar os dados do CM obtidos com os magnetómetros SeaSpy e do G-586, e medir com sensor MS2B as restantes amostragens da praia emersa realizadas dos dias 9, 10 e 11. Para complementar e averiguar o desempenho desta metodologia, será ainda realizada a observação de algumas amostras à lupa binocular, para a deteção de traçador magnético nas mesmas, e a calibração do traçador magnético com o sensor MS2B.

AGRADECIMENTOS

O projecto “SandTrack”, “PTDC/CTA-GEO/31779/2017”, é financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa Operacional Regional de Lisboa e do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização e por fundos nacionais através da FCT/MCTES. Obrigada a todos os participantes que, de alguma forma, contribuíram para a campanha: Ana Silva, Ana Fernandes, André Vinhas, Carlos Coelho, Carlos Gaspar, Caroline Ferreira, Cecília Luz, Cristina Bernardes, Daniela Espanhol, Edwige Cagnin, Fábio Santos, João Cascalho, João Oliveira, Laura López-Olmédilla, Margarida Ferreira, Mónica Ribeiro, Paulo Alves da Silva, Paulo Baptista, Rui Campos, Rui Taborda, Sandra Fernández-Fernández, Sandra Silva, Soraia Romão, Tiago Abreu.

Bibliografia

-Pinto C.; Silveira T. e Teixeira S. (2018) – Alimentação Artificial de Praias na Faixa Costeira de Portugal Continental: Enquadramento e retrospectiva das intervenções realizadas (1950 – 2017). Relatório Técnico da APA (Agência Portuguesa do Ambiente) 61p.

Geochemical characterization and modelling of the Luchon granite-hosted hydrothermal system

Jon Jiménez^{1*}, María José Gimeno¹, Luis Francisco Auqué¹

¹ University of Zaragoza, Earth Sciences Department, C/Pedro Cerbuna, 12, 50009, Zaragoza (Spain).

* 686901@unizar.es

Abstract: Alkaline hydrothermal systems in granitic rocks have been widely investigated in the last decades as natural analogues of similar geological environments selected for nuclear radioactive waste disposal. Thereby, their characterization and quantification of the hydrogeochemical processes is essential to make long-term temporal predictions. The geochemical modelling of one of these systems has been developed in the Luchon hydrothermal system, in the central Pyrenees (France). The modelling results show that the main processes controlling the hydrogeochemical evolution of this system are represented by mixing between deep thermal and cold superficial waters, conductive cooling and external inputs of biogenic or edaphic CO₂. Another important result is that the most alkaline thermal waters in this system are characterized by a high pH-buffering capacity in the mixing processes. Furthermore, the influence of surface waters on the thermal waters reveals a high susceptibility of the system to contamination processes.

Key-words: geochemical modelling, alkaline hydrothermal systems, thermal waters.

INTRODUCTION

The Luchon hydrothermal system, located in the Pyrenean Axial Zone, in the french zone of the Central Pyrenees, is an alkaline hydrothermal system hosted in the granitic rocks of the Bossost Dome (Auqué *et al.* 1998). The thermal springs in this system, used for balneotherapy in a spa resort, result from the ascent of the waters through subvertical pegmatitic dykes and their associated fractures (faults and joints). These dykes cut the Cambrian - Ordovician sedimentary and metamorphic series (Bosch *et al.*, 1981).

The hydrogeochemical evolution of hydrothermal systems is frequently controlled by processes with a high spatial and temporal variability, as well as a high number of variables involved. Therefore, in the quantitative study of these processes a computational geochemical modelling can be very useful. In the case of the Luchon system, some of the processes that control its hydrogeochemical evolution (mainly mixing, conductive cooling and CO₂ transfer) have been indicated only qualitatively in previous studies (e.g. Criaud and Vuataz, 1984). Thereby, the main objective of this study is to quantify these processes by geochemical modelling.

RESULTS AND DISCUSSION

Analytical data of Luchon hot springs sampled by various authors (Alaux-Negrel *et al.*, 1993; Criaud y Vuataz, 1984 and lundt *et al.*, 1991) have been used, and a sampling campaign has been carried out in 2019 for this study. The data processing has been developed with the geochemical

modelling software PHREEQC (Parkhurst and Appelo, 2013), developed for speciation-solubility calculations, reaction paths, mass balance and one-dimensional reactive transport.

One of the most outstanding characteristics of the studied system is the high variability of the pH and temperature values between different springs. To analyze the evolution of these parameters during the rise of the thermal waters, the diagrams sodium vs. temperature and pH vs. sodium have been plotted (Fig. 1.a and Fig 1.b, respectively). The use of sodium enables to characterize the mixing between thermal and surface cold waters, since sodium as a non-reactive element in the system act as tracer of the mixing process.

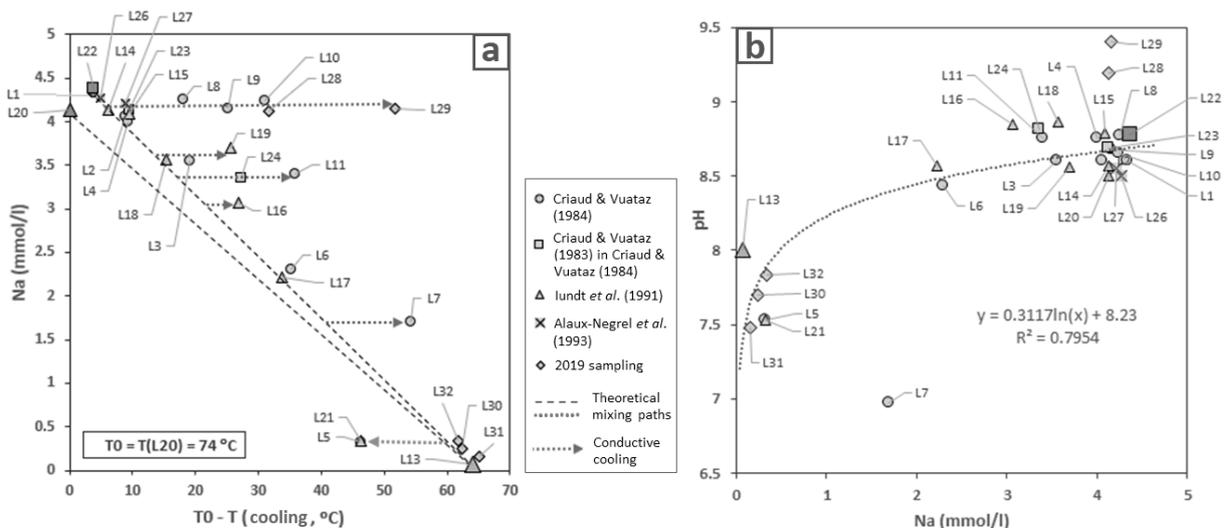


Figure 3. Diagrams Na vs. temperature (Figure 1.a) and pH vs. Na (Figure 1.b). The theoretical mixing paths between the thermal and cold end members are plotted in both diagrams, as well as the conductive cooling paths in the Figure 1.a. Notice that temperature has been defined as cooling from an initial maximum temperature.

In Figure 1.a two fundamental trends can be observed: a decreasing linear trend corresponding to the cooling by mixing, and several trends of cooling additional to the mixture cooling, since in the last trends the sodium is not affected. These trends of additional cooling can be interpreted as conductive cooling, associated with longer underground paths of the waters or lower flow at certain springs. On the other hand, Figure 1.b shows a trend characterized by a slow decrease in pH for high concentrations of sodium (thermal alkaline waters), which is maintained up to sodium concentrations close to 1 mmol/l, near the cold end member. The pH values decrease as sodium decreases, both by mixing between thermal alkaline waters and surface waters with lower values of pH and sodium. This slow decrease indicates a high pH buffering capacity of the most alkaline thermal solutions, which is related to the presence of unusually active acid-base pairs ($(\text{H}_4\text{SiO}_4^0/\text{H}_3\text{SiO}_4^-)$ and $(\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-})$) in these waters. Then, using the PHREEQC software, the previously identified processes have been simulated. These processes are mixing, conductive cooling and CO_2 transfer (this one deduced from the speciation-solubility calculations developed with PHREEQC).

Figure 2.a shows the simulation results in the pH vs. cooling plane, since these parameters are sensitive to the three modelled processes. The simulations mixing the thermal end members with the cold end member show a pH buffering that remains effective up to mixing rates close to 50% with the cold end member. On the other hand, conductive cooling simulations show a linear increase in pH, with a variation rate of 0.0135 pH units per degree °C of cooling. Finally, simulations of CO₂ contamination have enabled verifying that the thermal pole L1 can be the result of CO₂ contamination of the pole L22 up to a Log (pCO₂) = -3.29.

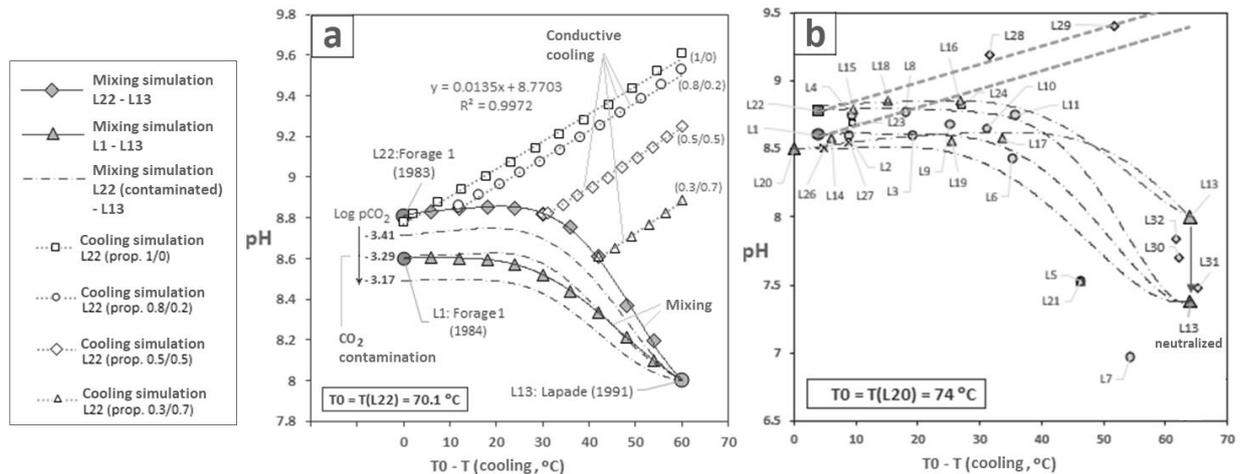


Figure 4. Modelling results (Figure 2.a) and comparison between simulations and analytical data (Figure 2.b), plotted in the pH-cooling plane (see explanation in the text). Mixing and cooling simulations are plotted in both diagrams, and the one in Figure 2.a includes some discrete values of the CO₂ transfer simulation. Notice that the legend corresponds to Figure 2.a (see legend in Figure 1, corresponding both for Figure 1 and Figure 2.b).

In Figure 2.b the modelling results are compared with the analytical results of the natural system. In this comparison, it can be observed that most of the samples fit the model by different combinations of mixture, conductive cooling and CO₂ transfer. Besides, a better fit can be obtained if a theoretical solution resulting from neutralizing the anomalous pH of L13 is considered as a cold end member. That anomalous pH is restored to the value corresponding to the logarithmic trend obtained in Figure 1.b. This new theoretical solution is more representative of the surface waters, verifying therefore the initial hypothesis of mixing between thermal waters and a cold surface water reservoir. Furthermore, the control of surface waters over the hydrogeochemical evolution of thermal waters reveals a high susceptibility of this system to contamination processes and to a loss in the quality of the thermal waters for their use in balneotherapy.

CONCLUSIONS

Geochemical modelling and classical geochemical calculations have been used to characterize the Luchon alkaline geothermal system. The analyses of the relationship among several physicochemical parameters, together with the results obtained from the geochemical modelling, suggest that the hydrogeochemical variability of the system is mainly controlled by the following processes: 1) mixing

between two end-member waters represented by thermal and cold groundwater; 2) additional conductive cooling superimposed on some of the thermal waters and 3) transfer of CO₂ in particular springs. Besides, the most alkaline thermal waters in this system are characterized by a high pH-buffering capacity in the mixing processes, so that the high pH values of the thermal end member are maintained even to mixing proportions of 50 % with cold surface waters. Finally, the influence of mixing with surface waters on the physicochemical parameters of the thermal waters reveals the high susceptibility of this system to contamination processes, and, therefore, to a loss in the quality of the thermal waters for their use in balneotherapy. Thus, it is advisable to maintain a periodic analytical control of the physicochemical parameters, analyzing not only the thermal waters but also the surface waters.

References

- ALAUX-NEGREL, G., BEUCAIRE, C., MICHARD, G., TOULHOAT, P., OUZOUNIAN, G. (1993) – Trace-metal behaviour in natural granitic waters. *Journal of Contaminant Hydrology*, vol. 13: 309-325.
- AUQUE, L. F., MANDADO, J., LOPEZ, P. L., LAPUENTE, M. P., GIMENO, M. J. (1998) – Los sistemas geotermales del Pirineo Central. III. Evaluación de las condiciones en profundidad y evolución de las soluciones hidrotermales durante su ascenso. *Estudios Geológicos*, vol. 54: 25-37.
- BOSCH, B., RISLER, J., SOULE, J., TERNET, Y. (1981) – Etude hydrogéologique des sources minérales des thermes de Luchon. *Rapport du BRGM, 81*.
- CRIAUD, A., VUATAZ, D. (1984) – Etude géochimique et géothermique des eaux sulfurées sodiques de Luchon, Pyrénées. *Rapport du BRGM, 84*.
- IUNDT, F., PIGASSOU, R., RIGAILL, R. (1991) – L'évolution des sulfures depuis l'émergence jusqu'à la distribution. Exemple de Bagnères-de-Luchon. *Journal français d'hydrologie*, 22: 17-27.
- PARKHURST, D.L., APPELO, C.A.J. (2013) – Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3. A Computer Program for Speciation, Batch Reaction, One Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. In: *Techniques and methods* (U.S. Geological Survey, Ed.), Book 6, Chap. A43. U.S.

Estudo das características intrínsecas dos sapais na avaliação da sua resiliência à subida do nível médio do mar

Study of salt marshes characteristics in the evaluation of its resilience to sea level rise

M. Inácio^{1*}, A.G. Cunha¹, M.C. Freitas¹, M. Leira¹, C. Antunes¹, V¹. Lopes, C¹. Andrade¹

¹ IDL – Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa

* mfinacio@fc.ul.pt

Resumo: A evolução de áreas de sapal até ao final do séc. XXI depende essencialmente do balanço entre as taxas de sedimentação e as taxas de subida do nível médio do mar. A aplicação de um modelo de evolução de sapais a quatro áreas do estuário do Sado permitiu identificar que há características intrínsecas de cada sapal que podem influenciar a sua resiliência a esta consequência das alterações climáticas. A maturidade dos sapais mostrou ser um fator dominante no controlo dessa resiliência em cenários de subida do nível do mar próximos de 1 m até 2100. Em caso de subida mais acentuada, a existência de dunas com baixo declive nas imediações do sapal passíveis de sofrerem inundações mostrou-se preponderante na sua evolução.

Palavras-chave: Evolução de sapais, maturidade, resiliência, alterações climáticas

Abstract: The evolution of salt marshes until the end of the 21st century depends mainly on the balance between sedimentation and sea level rise rates. The application of a salt marsh model allowed to observe that there are intrinsic characteristics of each salt marsh which can change the resilience of these areas to climate change. Salt marsh maturity seems to be an important factor to consider in scenarios of sea level rise of approximately 1 m until 2100. When the rise is more pronounced, the availability of space with low slope seems to be preponderant to the evolution of these areas.

Key-words: Evolution of salt marshes, maturity, resilience, climate change

INTRODUÇÃO

Sapais são ambientes intertidais muito relevantes mas muito vulneráveis à subida do nível médio do mar (NMM). Essa vulnerabilidade motiva a realização de estudos da sua evolução até ao final do séc. XXI, tendo como base o balanço entre taxas de sedimentação e de subida do NMM. No entanto, há características intrínsecas a cada ambiente que podem influenciar fortemente a sua evolução no futuro, nomeadamente a maturidade, a disponibilidade de espaço na faixa terrestre adjacente aos sapais e a topografia dessa faixa terrestre. Neste resumo pretende-se explorar a influência destas características para estimar a resiliência de áreas de sapal à subida do NMM.

ÁREA DE ESTUDO

A restinga de Tróia separa o estuário do Sado do oceano Atlântico, tem uma orientação NNW-SSE e comprimento de 25 km. Ao longo da sua margem estuarina é possível encontrar diversas manchas de sapal, apresentando-se neste trabalho os resultados de duas localizadas próximo do extremo norte, os sapais dos setores norte (38°29'25''N, 8°53'45''W) e sul (38°28'27''N, 8°52'55''W) da Caldeira de

Tróia (C. Tróia (N) e (S)) e de duas na zona centro-sul da restinga, os sapais dos setores norte ($38^{\circ}26'37''N$, $8^{\circ}49'46''W$) e sul ($38^{\circ}25'15''N$, $8^{\circ}49'09''W$) da Malha da Costa (M. Costa (N) e (S)). O sapal da C. Tróia (N) tem dimensões reduzidas (4.7 ha) e maturidade relativamente elevada (Alto sapal / Baixo sapal (AS/BS) = 2.5 (Inácio *et al.*, 2017)). O sapal da C. Tróia (S) tem o dobro da área (10.6 ha) e maturidade mais reduzida (AS/BS = 1.5). Ambas as áreas estão circundadas por dunas de baixo declive (Tabela 1).

Tabela 2 - Área, maturidade (AS/BS) e relevo das dunas circundantes dos sapais estudados.

Sapal	Área (ha)			Maturidade (AS/BS)	Declive das dunas
	Total	AS	BS		
C. Tróia (N)	4.7	3.5	1.2	2.5	Baixo
C. Tróia (S)	10.6	6.4	4.2	1.5	Baixo
M. Costa (N)	53.2	45.8	7.4	6.1	Alto
M. Costa (S)	10.8	9.5	1.3	7.5	Alto

O sapal da M. Costa (N) é o de maior dimensão (53.2 ha) e tem maturidade elevada (6.1). O sapal da M. Costa (S) tem uma área idêntica ao sapal da C. Tróia (S) (10.8 ha), apesar de ser o mais maturo dos sapais estudados (7.5). Em ambos, as dunas adjacentes ao sapal apresentam um declive elevado.

METODOLOGIA

A projeção da evolução das áreas de sapal até ao fim do séc. XXI tem em conta quatro parâmetros: taxas de sedimentação para o alto sapal, baixo sapal e raso de maré; um modelo digital de terreno (MDT) de elevada resolução espacial; um cenário de subida do NMM e níveis de maré local.

As taxas de sedimentação foram obtidas com base na análise da atividade dos isótopos ^{210}Pb e ^{137}Cs em sondagens em alto sapal, baixo sapal e raso de maré nos sapais da C. Tróia. Foram obtidas taxas de 2.9 mm/ano para alto e baixo sapal e de 2.7 mm/ano para o raso de maré (Cunha *et al.*, 2018). O MDT utilizado tem 2 m de resolução espacial e foi obtido através do processamento de dados LiDAR (levantamento de 2011, Agência Portuguesa do Ambiente e Direção Geral do Território), após validação com dados de campo obtidos com DGPS-RTK. Foram considerados dois cenários de subida do NMM: MOD.FC_2b (Antunes, 2019) e NOAA *Extreme* (NOAA, 2017) - Tabela 2.

Tabela 3 - Dados para aplicação dos cenários MOD.FC_2b e NOAA Extreme ao modelo de evolução de sapais.

Cenário	Taxa 2019 (mm/ano)	Aceleração (mm/ano ²)	Subida (cm)	
			2050	2100
MOD.FC_2b	5.10	0.152	43	111
NOAA <i>Extreme</i>	9.00	0.505	74	261

Os níveis de maré local foram determinados através da modelação de uma tabela de marés para o intervalo 2000-2016, com base em dados observados do marégrafo de Setúbal-Tróia. Os valores

obtidos foram atualizados para o NMM de 2019, em relação ao *datum* vertical português. Obtiveram-se valores de 0.89 m para a *preia-mar* de águas mortas (transição entre o raso de maré e o baixo sapal); 1.26 m para a *preia-mar* média (transição entre alto e baixo sapal) e 1.60 m para a *preia-mar* de águas vivas (limite de crescimento do alto sapal).

Todas as projeções de evolução dos sapais estudados foram realizadas através de um modelo desenvolvido pelos autores com recurso ao *software* MATLAB (Inácio *et al.*, 2018). Este modelo tem em consideração a distinção entre áreas de alto e baixo sapal, bem como a disponibilidade de espaço envolvente, de modo a simular a sua expansão para terra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, é possível projetar uma redução considerável das quatro áreas de sapal, ainda que com comportamentos distintos (Tabela 3 e Figura 1).

Tabela 4 - Variação da área e maturidade para 2050 e 2100 para os sapais estudados.

Sapal	2019		2050				2100			
	Área (ha)	AS/BS	MOD.FC_2b		NOAA Extreme		MOD.FC_2b		NOAA Extreme	
			Área (ha)	AS/BS	Área (ha)	AS/BS	Área (ha)	AS/BS	Área (ha)	AS/BS
C. Tróia (N)	4.7	2.5	4.6 [-3%]	1.7 [-42%]	3.8 [-19%]	0.5 [-84%]	2.2 [-53%]	1.4 [-51%]	1.7 [-64%]	1.9 [-34%]
C. Tróia (S)	10.6	1.5	9.6 [-9%]	1.1 [-27%]	6.5 [-38%]	0.5 [-68%]	4.5 [-58%]	1.5 [-3%]	4.8 [-55%]	1.5 [-2%]
M. Costa (N)	53.2	6.1	51.3 [-2%]	4.7 [-27%]	45.1 [-14%]	0.8 [-88%]	32.7 [-38%]	0.3 [-96%]	7.4 [-86%]	1.7 [-74%]
M. Costa (S)	10.8	7.5	10.4 [-3%]	6.1 [-18%]	9.5 [-12%]	0.7 [-95%]	7.5 [-30%]	0.1 [-98%]	0.6 [-95%]	1.7 [-77%]

Quando se considera o cenário MOD.FC_2b, projetam-se perdas de maturidade percentualmente mais significativas do que perdas de área em todos os sapais estudados. Para 2100, é possível observar que os sapais atualmente menos maduros (C. Tróia (N) e (S)) serão os mais afetados na redução da área total – perdas superiores a 50% para C. Tróia (N) e (S) e inferiores a 40% para M. Costa (N) e (S).

Quando se considera o cenário NOAA *Extreme*, o valor de subida do NMM é tão acentuado que a condição de maturidade inicial elevada não é suficiente para reduzir o impacto na perda de área. Neste caso, é possível encontrar comportamentos distintos entre os sapais circundados por dunas de elevado e de reduzido declive. Nos sapais em que as dunas circundantes têm um declive mais elevado projetam-se perdas na área global mais significativas até 2100 – superiores a 80% para M. Costa (N) e (S) mas inferiores a 65% para C. Tróia (N) e (S). Esta diferença ocorre pela possibilidade de expansão para terra dos sapais da C. Tróia, em resultado do reduzido declive das dunas envolventes.

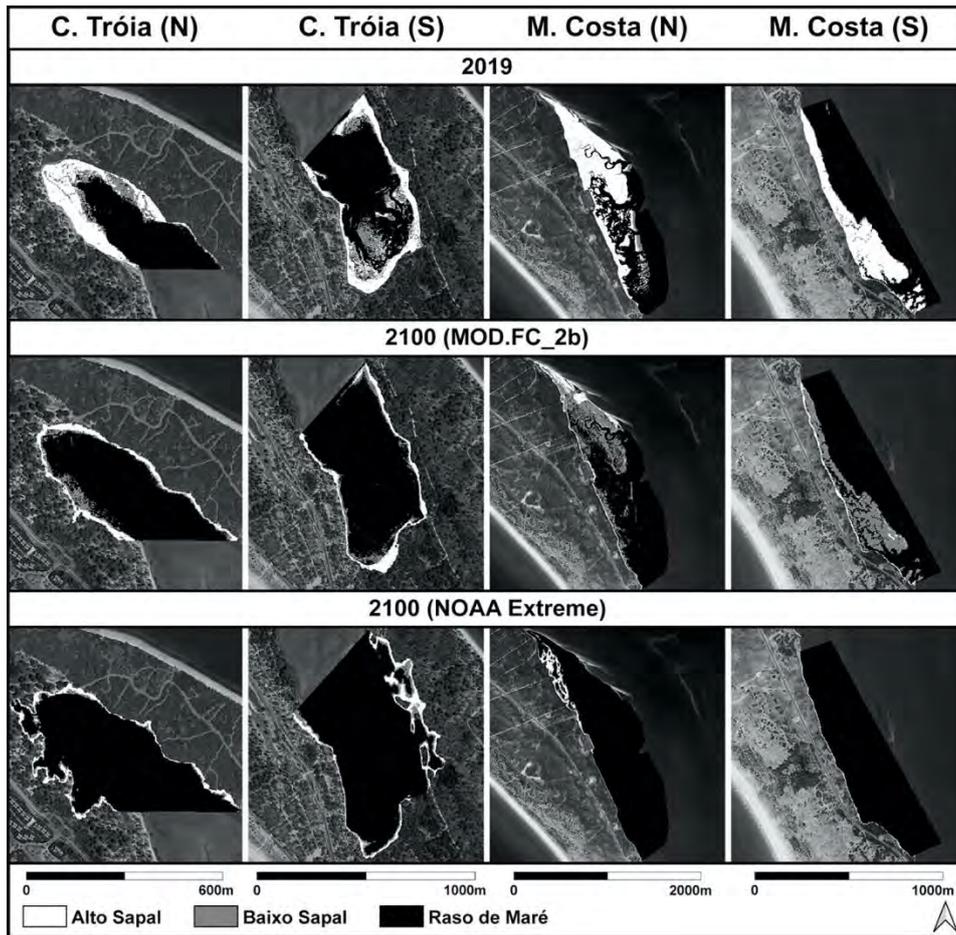


Figura 9 - Mapas morfológicos dos sapais estudados para 2019 e 2100.

CONCLUSÃO

Através da análise e interpretação dos resultados obtidos, é possível concluir que quando se considera uma subida do NMM próxima de 1 m até 2100, a maturidade é um fator preponderante na resiliência dos sapais. Em casos de subida mais acelerada do NMM (na ordem de 2.5 m até 2100), a disponibilidade de espaço terrestre com baixo declive que permita a colonização de novas áreas de sapal é identificada como o fator preponderante para o aumento da resiliência.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado pela FCT através dos projetos UID/GEO/50019/2019 – Instituto Dom Luiz, PTDC/CTA-GEO/28412/2017 – CLIMARES e das bolsas de doutoramento PD/BD/106074/2015 e PD/BD/142781/2018.

Bibliografia

- ANTUNES, C. (2019) – Assessment of Sea Level Rise at West Coast of Portugal Mainland and Its Projection for the 21st century. *J. Mar. Sci. Eng. Int.*, 7(3), 61, doi.org/10.3390/jmse7030061;
- CUNHA, A.G., INÁCIO, M., FREITAS, M.C., SILVA, T. & ANDRADE, C. (2018) – Determining sedimentation rates for different intertidal environments: the case of Tróia salt marsh (Sado estuary, Portugal). IX Simpósio da Margem Ibérica Atlântica, MIA2018, 185-186;
- INÁCIO, M., CUNHA, A.G., FREITAS, M.C., ANTUNES, C., ANDRADE, C. & LOPES, V. (2017) – Spatial response of the Caldeira de Tróia salt marsh (Sado estuary, Portugal) to sea level rise. 4ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, MEC2017, 5-7;
- NOAA (2017) – NOAA Technical Report NOS CO-OPS 083: Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States. Silver Spring, United States: U.S. Department of Commerce / NOAA / NOS / COOPS.

Caracterização Granulométrica e Mineralógica da Cobertura Sedimentar da Plataforma Continental Alentejana

Sedimentary Cover Grain Size Analysis and Mineralogy of the Alentejo's Continental Shelf

A. Pacheco^{1*}, M. Luís², P. Nogueira³, V. Magalhães⁴, S. Velez³, P. Moita⁵, A. Tsoupras⁶, P. Terrinha⁴, C. Ribeiro³

¹ Universidade de Évora, Departamento de Geociências, Colégio Luís António Verney, Rua Romão Ramalho 59, Évora, Portugal

² Universidade de Évora, Departamento de Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia, Colégio Luís António Verney, Rua Romão Ramalho 59, Évora, Portugal

³ Universidade de Évora, Departamento de Geociências, ICT - Instituto de Ciências da Terra, Pólo do Colégio Luís António Verney, Rua Romão Ramalho 59, Évora, Portugal

⁴ Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Divisão de Geologia e Georecursos Marinhos, Rua C do Aeroporto 1749-077 Lisboa, Portugal e Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande Edifício C1, Piso 1, 1749-016 Lisboa, Portugal

⁵ Universidade de Évora, Departamento de Geociências, Laboratório HERCULES - Herança Cultural, Estudos e Salvaguarda, Largo Marquês de Marialva 8, Évora, Portugal

⁶ Universidade de Évora, Laboratório HERCULES - Herança Cultural, Estudos e Salvaguarda, Largo Marquês de Marialva 8, Évora, Portugal

* apacheco@uevora.pt

Resumo: No âmbito do projeto MINEPLAT, realizaram-se campanhas de levantamento geofísico e de amostragem, com o objetivo de aprofundar o conhecimento relativo à plataforma continental Alentejana.

Neste trabalho são apresentados os resultados preliminares do estudo de sedimentos, recolhidos na campanha de amostragem, que correspondem a areias, com frações mais grosseiras de proporções variadas, cuja constituição mineralógica é dominada por quartzo e por calcite.

A granulometria dos sedimentos analisados não apresenta uma relação direta com a profundidade a que foram recolhidos. Esta observação poderá ser explicada pela existência de paleo-litorais ou pela ação de correntes de fundo.

Palavras-chave: Plataforma continental alentejana, Sedimentação, Granulometria, Mineralogia.

Abstract: Under the project MINEPLAT, geophysical and sampling campaigns were done in the Alentejo's continental shelf.

In this work we present the main preliminary results of the sedimentological analysis of the surface sediment samples. The sedimentary cover of the continental shelf is mainly made of sands with variable amounts of the coarser component which mineralogical composition is dominated by the quartz and the calcite.

The sediment grain size is not directly related to the water depth. This observation suggest that other factors than the distance to the sediment source are the responsible for the spatial distribution of the sediments, such as the existence of paleo-shorelines or the activity of bottom currents.

Key-words: Continental shelf, Sedimentation, Grain size, Mineralogy.

INTRODUÇÃO

O aumento exponencial da população mundial, bem como a melhoria das condições de vida, tem levado ao aumento do consumo de matérias-primas nomeadamente matérias-primas minerais.

Este aumento da procura, associado à diminuição das reservas disponíveis na parte emersa do nosso planeta e aos condicionalismos decorrentes da preservação do ambiente, tem implicado um aumento do interesse, tanto da comunidade científica como das entidades empresariais, por recursos existentes na porção submersa do planeta.

O projeto MINEPLAT tem como objetivo principal caracterizar a cobertura sedimentar não consolidada da plataforma continental alentejana, enquadrar a evolução sedimentar da plataforma no soerguimento a que esteve sujeita bem como nas variações do nível do mar durante o Quaternário e avaliar o seu potencial em recursos minerais metálicos (placers) e em inertes (com possíveis aplicações na realimentação artificial de praias).

Neste trabalho apresentam-se os primeiros resultados da caracterização granulométrica e mineralógica dos sedimentos recolhidos durante a campanha MINEPLAT4.

AMOSTRAGEM E MÉTODOS

Durante a campanha MINEPLAT 4 a bordo do NI Noruega, foram recolhidas cerca de 240 amostras de sedimentos superficiais, em 84 estações (Figura 1) ao longo da plataforma continental alentejana, através de dois métodos distintos: Draga de Smith McIntyre que permite recolher cerca de 40 cm³ de sedimento superficial (até 25 centímetros de profundidade abaixo do fundo do mar); e Multicorer que permite a recolha de um testemunho de sedimento até cerca de 60 centímetros de profundidade abaixo do fundo do mar, preservando intacta a interface entre a coluna de água e o sedimento e preservando também intactas as relações estratigráficas ao longo da secção amostrada. As amostras foram posteriormente analisadas por granulometria de crivos (Laboratório de Sedimentologia da Universidade de Évora) e por Difração de raios-X (Laboratório HERCULES da Universidade de Évora). Os dados da granulometria foram tratados com recurso ao programa Gradistat (Blott & Pye, 2001).

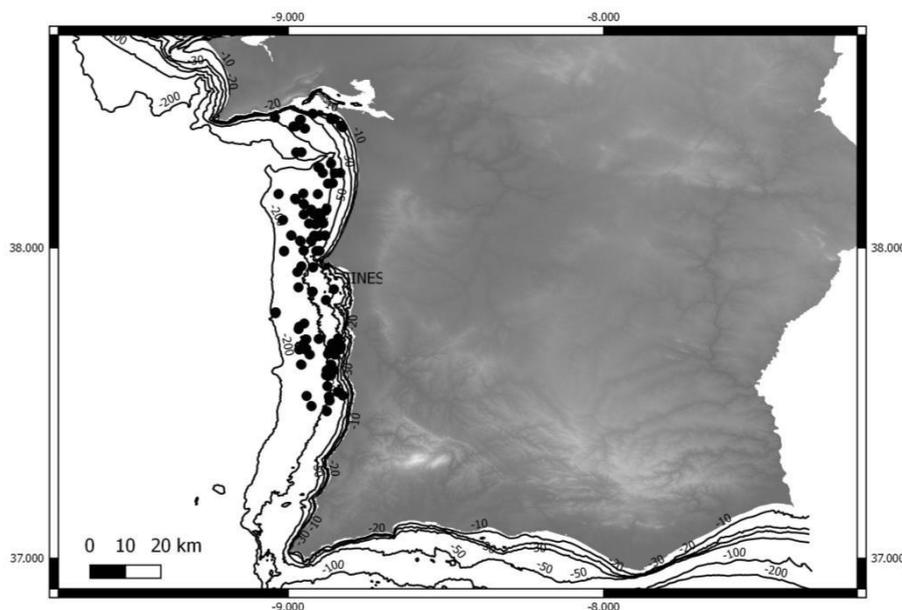


Figura 1 - Mapa de amostragem da Campanha MINEPLAT 4.

Foram igualmente amostradas áreas caracterizadas como tendo sedimentos arenosos na Carta de Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental (IH, 2010), nas proximidades de Odeceixe, através de Vibrocorer e a profundidades máximas de três metros. Às amostras recolhidas foram aplicados os procedimentos descritos acima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras recolhidas na zona de Odeceixe correspondem, na sua totalidade, a sedimentos que variam do tipo areia ligeiramente cascalhenta a areia cascalhenta (Figura 2).

A sua mineralogia consiste essencialmente em quartzo, calcite e calcite magnesiana, com quantidades acessórias de aragonite, moscovite e clinocloro.

Relativamente às amostras recolhidas no decorrer da Campanha MINEPLAT 4 correspondem a sedimentos que variam entre a areia ligeiramente cascalhenta, a areia cascalhenta e areia lamacenta ligeiramente cascalhenta (Figura 2).

A sua constituição mineralógica é dominada por quartzo, calcite e/ou calcite magnesiana, com a presença em menores quantidades de aragonite, moscovite, clorite e feldspato potássico. Foi, ainda, registada presença de ankerite, dolomite e titanite.

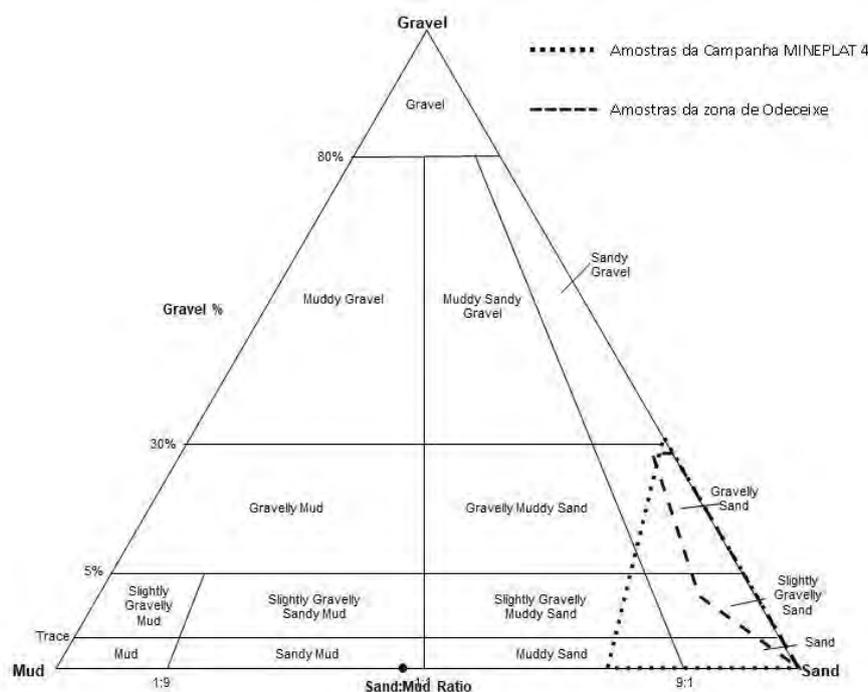


Figura 2 - Amostras da zona de Odeceixe e da Campanha MINEPLAT 4 representadas no diagrama triangular cascalho-areia-lama (Folk, 1954).

A variação espacial da granulometria dos sedimentos estudados não apresenta qualquer relação com a distância à linha de costa, ou a cursos de água principais. Seria expectável observar uma diminuição da dimensão média dos sedimentos com o aumento da profundidade e da distância às áreas emersas, que não se verifica.

Uma análise preliminar da batimetria da plataforma continental alentejana revela que a variabilidade granulométrica dos sedimentos superficiais que a recobrem deverá muito provavelmente estar relacionada com a existência de paleo-litorais formados durante épocas em que o nível do mar terá estado mais baixo do que atualmente (Ribeiro et al., 2019).

Bibliografia

- Blott, S. J., & Pye, K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth surface processes and Landforms*, 26(11), 1237-1248.
- Folk, R. L. (1954). The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *The Journal of Geology*, 62(4), 344-359.
- IH (2010) - Cartografia dos sedimentos superficiais da plataforma continental na escala 1/150 000: do Cabo de Sines ao Cabo de S. Vicente (Folha SED6), 1ª edição. Instituto Hidrográfico, Lisboa.
- Ribeiro, C., Terrinha, P., Brito, P., Noiva, J., Rosa, M., Batista, L., Neres, M. & Magalhães, V., (2019). Cataloguing Quaternary paleo-coastlines in West and Southwest Portugal. Economic, societal and geologic implications. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 21. EGU General Assembly 2019.

Agradecimentos: Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto MINEPLAT (ALT20-03-0145-FEDER-000013 financiado pelo Programa Alentejo 2020). Um agradecimento a toda a equipa científica da campanha MINEPLAT4 e à tripulação e comandante do NI Noruega.

Contribuição para o estudo geoquímico dos montes submarinos Rugoso, Jo Cousin e Pico Pia (Crista Madeira-Tore)

Contribution to the geochemical study of seamounts Rugoso, Jo Cousin and Pico Pia (Madeira-Tore Rise)

A.R. Rosa^{1*}, L. Pinto Ribeiro^{2,3}, J. Mata^{1,4}

¹ FCUL - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, 1749-016 Lisboa, Portugal

² EMEPC - Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental, 2770-047 Paço de Arcos, Portugal

³ GeoBioTec Research Center, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

⁴ IDL - Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa, Portugal

* anaritasrosa22@gmail.com

Resumo: A Crista Madeira-Tore (CMT) (≈ 1000 km) terá sido inicialmente formada durante o Cretácico (125-130 Ma), registando atividade magmática posterior entre os 103 Ma e 0.5 Ma. Durante a campanha EMEPC\PEPC\Luso\2012, foram amostrados os montes submarinos Rugoso, Jo Cousin e Pico Pia com o ROV Luso. A análise geoquímica dos elementos maiores e traço e dos isótopos de Sr, Nd, Hf e Pb das amostras colhidas permitiu reconhecer novas evidências para a existência de fontes mantélicas com composição distinta alimentando o magmatismo da CMT, contribuindo assim para o avanço do conhecimento acerca dos processos geodinâmicos responsáveis pela origem desta estrutura.

Palavras-chave: Crista Madeira-Tore, montes submarinos, Oceano Atlântico, ROV Luso.

Abstract: Madeira-Tore Rise (MTR) (≈ 1000 km) was initially formed during the Cretaceous (125-130 Ma). However, it also records posterior magmatic activity between 103 Ma and 0.5 Ma. During the EMEPC\PEPC\Luso\2012 campaign, sampling was carried out in Rugoso, Jo Cousin and Pico Pia seamounts using ROV Luso. Major and trace elements analyses coupled with Sr, Nd, Hf and Pb isotopic data now evidence the existence of mantle sources with distinct compositions feeding the MTR magmatism, thus contributing to the understanding of the geodynamic processes responsible for the origin of this structure.

Key-words: Madeira-Tore Rise, seamounts, Atlantic Ocean, ROV Luso.

INTRODUÇÃO

Estendendo-se por cerca de 1000 km, a Crista Madeira-Tore (CMT) constitui uma proeminente anomalia batimétrica da bacia atlântica, elevando-se desde a planície abissal (≈ 5000 m) até profundidades de ≈ 2000 m (Fig.1). Em toda a sua extensão, esta anomalia é praticamente coincidente com a anomalia magnética J, levando a considerar que ambas as estruturas apresentem idade semelhante (125-130 Ma; Merle et al., 2006), observação corroborada por estudos gravimétricos (Peirce & Barton, 1991).

Sobrepostos sobre a anomalia batimétrica da CMT existem atualmente diversos montes submarinos (Fig.1), revelando atividade magmática entre 103 e 0.5 Ma (Merle et al., 2006; Geldmacher et al., 2006). Durante a campanha portuguesa EMEPC\PEPC\Luso\2012 foram amostrados com o ROV Luso

os montes submarinos Pico Pia e, pela primeira vez, o Rugoso e Jo Cousin. O Rugoso (37.03° N, 14.25° W) localiza-se no sector central da CMT e apresenta cume à profundidade de ≈ 700 m, enquanto o Jo Cousin (36.07° N, 15.35° W) se localiza no sector sul da CMT e possui cume à profundidade de 1480 m. O Pico Pia (36.98° N, 13.82° W) constitui um dos relevos do flanco SE do monte submarino Josephine North, possuindo cume à profundidade de 1200 m.

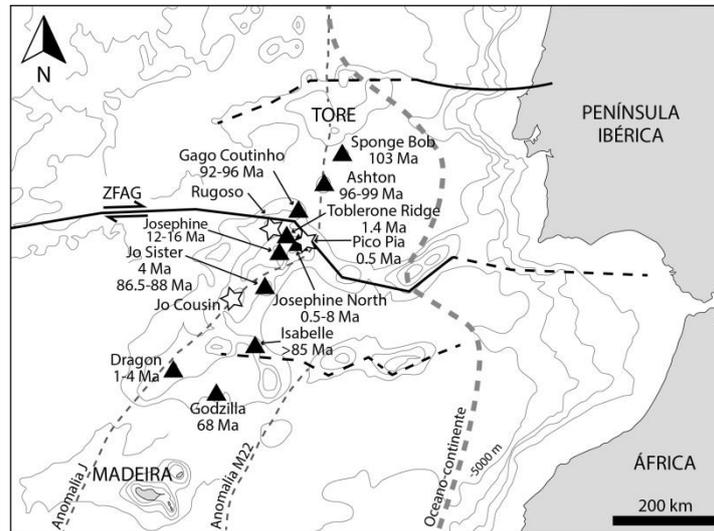


Fig.1 – Mapa batimétrico da Crista Madeira-Tore e região envolvente (modificado de Merle et al., 2018). Os montes submarinos estudados por Merle et al. (2006, 2018) e Geldmacher et al. (2006) encontram-se representados por triângulos pretos, enquanto os montes submarinos amostrados no decorrer da campanha da EMEPC são representados por estrelas brancas.

ELEMENTOS MAIORES E TRAÇO

Todas as amostras analisadas nos três montes submarinos evidenciam carácter alcalino (Fig.2a), variando no grau de subsaturação em sílica (ne normativa = 5.8-32.4 % e $I_c = 0-9.5$ %). As lavas do Rugoso são as mais evoluídas dos três montes estudados, apresentando composição básica a intermédia ($SiO_2 = 50.7-56.6$ %) e classificando-se como nefelinitos s.s. e fonólitos ($Mg\# = 42.1-29.5$), (Fig.2a). Por sua vez, as lavas do Pico Pia são as menos evoluídas, evidenciando composição ultramáfica ($SiO_2 = 41.1-41.3$ %) e correspondendo a melanfelinitos ($Mg\# = 62.2-58.1$; Fig.2a). Por fim, as amostras do Jo Cousin revelam carácter básico ($SiO_2 = 45.8-46.6$ %), classificando-se como basaltos alcalinos ($Mg\# = 68.5-61.2$; Fig.2a).

Para os três montes submarinos, as lavas analisadas apresentam-se altamente enriquecidas em elementos incompatíveis (Fig.2b), característica típica do magmatismo do tipo OIB. Em todas as amostras, as LREE ocorrem significativamente enriquecidas relativamente às MREE e HREE (e.g. $(La/Lu)_N = 15.2-47.8$), o que reflete parcialmente a presença de granada residual na fonte mantélica sujeita a fusão. Tal interpretação é corroborada pelas razões $(Tb/Yb)_N$ (2.3-2.9) que caracterizam as amostras menos evoluídas ($SiO_2 < 53$ %), uma vez que o Yb, em oposição ao Tb, é altamente compatível com a granada (e.g. Wang et al., 2002). Por outro lado, tal como foi descrito para outros montes submarinos da CMT (e.g. Geldmacher et al., 2006), também as amostras estudadas

evidenciam enriquecimento em Nb e Ta relativamente aos LILE e às LREE (Fig.2b), sugerindo a influência de um componente mantélico do tipo HIMU (Geldmacher et al., 2006).

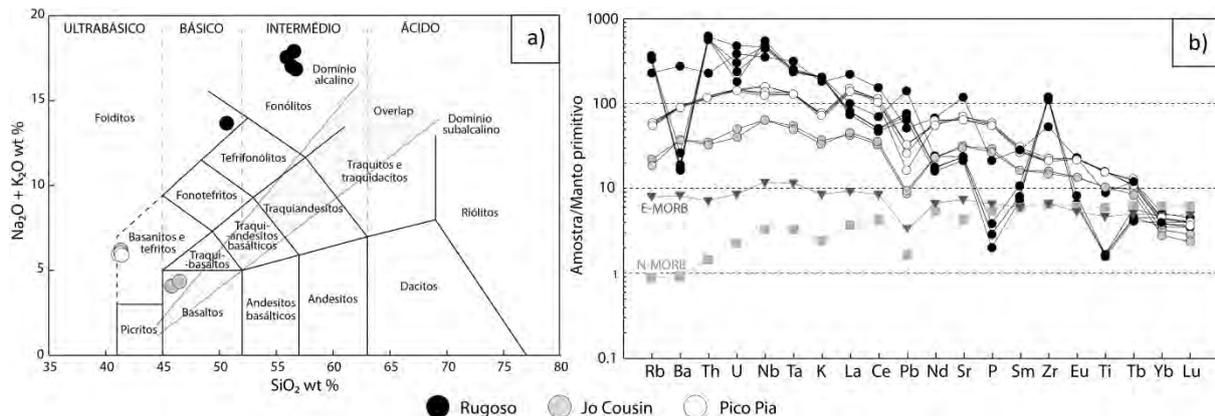


Fig.2 - a) Diagrama Total Alkali-Silica (TAS; Le Bas et al., 1986). As amostras projetadas no campo dos basanitos + tefritos e foiditos foram discriminadas segundo os critérios de Le Bas (1989). **b)** Padrões de elementos incompatíveis das amostras do Rugoso, Jo Cousin e Pico Pia, normalizados ao manto primitivo (McDonough & Sun, 1995).

ISÓTOPOS DE Sr, Nd, Hf E Pb

As razões isotópicas de Sr, Nd, Hf e Pb não são modificadas durante os processos de fusão parcial e cristalização fracionada, refletindo a composição das fontes mantélicas a partir das quais os magmas são gerados. No presente caso, as duas amostras analisadas em cada monte submarino são cogenéticas (Fig.3), uma vez que possuem composições isotópicas semelhantes. Contudo, diferentes montes submarinos apresentam diferentes assinaturas isotópicas. As assinaturas isotópicas do Jo Cousin são claramente distintas das que caracterizam os montes Rugoso e Pico Pia, derivando de uma fonte mantélica com maior empobrecimento integrado no tempo. Este empobrecimento é o maior até à data descrito nos montes submarinos da CMT (c.f. Geldmacher et al., 2006). Dos três montes analisados, o Jo Cousin é também o que apresenta o maior empobrecimento em elementos incompatíveis (Fig. 2b).

Alguns autores (e.g. Geldmacher et al., 2006) têm atribuído o magmatismo da CMT à atividade das plumas da Madeira e das Canárias. De facto, de acordo com os novos dados, os montes submarinos Rugoso e Pico Pia apresentam assinaturas isotópicas compatíveis com o domínio das Canárias, enquanto o Jo Cousin revela assinaturas típicas do domínio da Madeira-N-MORB atlânticos (Fig.3). Estas assinaturas isotópicas parecem refletir uma tendência geográfica, uma vez que, os montes Rugoso e Pico Pia, localizados na proximidade da Zona de Falha Açores-Gibraltar (Fig.1), apresentam assinaturas “tipo Canárias”, ao passo que o Jo Cousin, localizado mais a sul (Fig.1), exhibe assinaturas “tipo Madeira”.

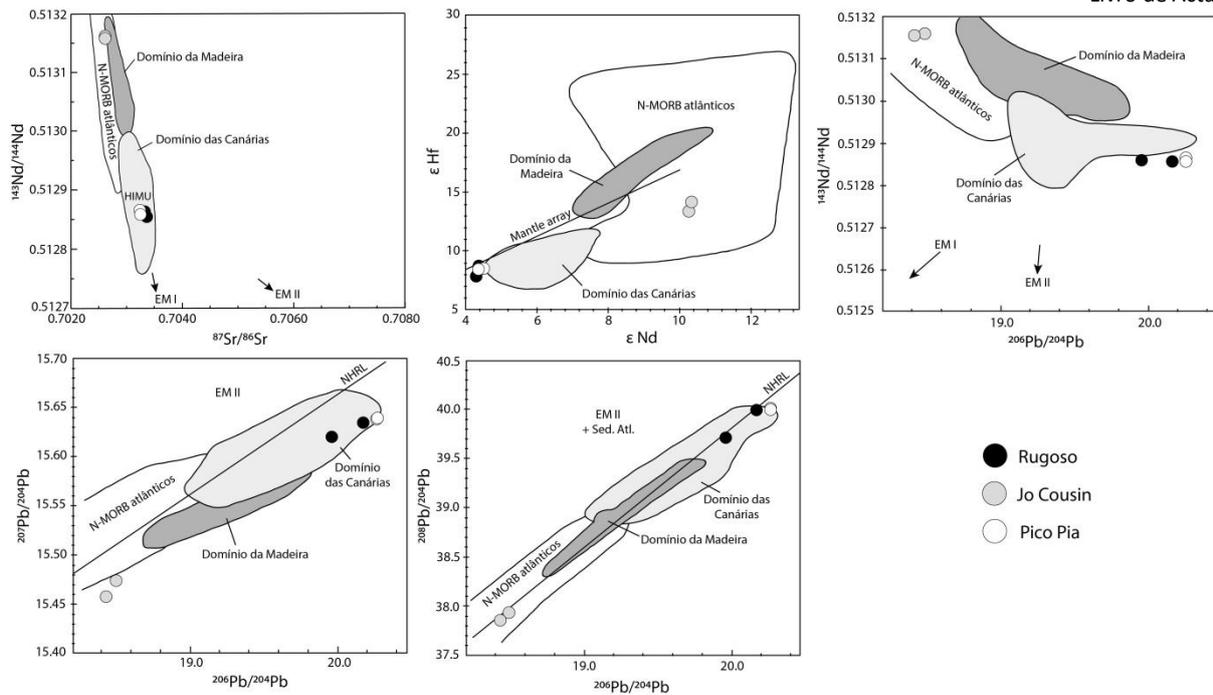


Fig.3 – Dados isotópicos de Sr, Nd, Hf e Pb. Os domínios da Madeira, Canárias e N-MORB atlânticos foram projetados de acordo com Geldmacher et al. (2006).

CONCLUSÃO

A análise geoquímica dos montes submarinos Rugoso, Jo Cousin e Pico Pia permitiu o reconhecimento de duas fontes mantélicas de composição distinta alimentando o magmatismo da CMT: (1) “tipo Canárias”, responsável pelo magmatismo dos montes Rugoso e Pico Pia, e (2) “tipo Madeira-N-MORB atlânticos”, responsável pelo magmatismo do Jo Cousin. O Jo Cousin evidencia o maior empobrecimento integrado no tempo descrito para as ocorrências da CMT, sendo este acompanhado pelo maior empobrecimento em elementos incompatíveis dos três montes analisados.

Bibliografia

- GELDMACHER, J., HOERNLE, K., KLÜGEL, A. VAN DER BOGAARD, P., WOMBACHER, F. & BERNING, B. (2006) – Origin and geochemical evolution of the Madeira-Tore Rise (eastern North Atlantic). *Journal of Geophysical Research*, vol. 111: B09206.
- LE BAS, M.J. (1989) – Nephelinitic and basaltic rocks. *Journal of Petrology*, vol. 30(5): 1299-1312.
- LE BAS, M.J., LE MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. (1986) – A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, vol. 27(3): 745-750.
- MCDONOUGH, W.F. & SUN, S. (1995) – The composition of the Earth. *Chemical Geology*, vol. 120: 223-253.
- MERLE, R., JOURDAN, F. & GIRARDEAU, J. (2018) – Geochronology of the Tore-Madeira Rise seamounts and surrounding areas: a review. *Australian Journal of Earth Sciences*, vol. 65(5): 591-605.
- MERLE, R., SCHARER, 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*, vol. 70(19): 4950-4976.
- PEIRCE, C. & BARTON, P. (1991) - Crustal structure of the Madeira-Tore Rise, eastern North Atlantic-results of a DOBS wide angle and normal incidence seismic experiment in the Josephine Seamount region. *Geophysical Journal International*, vol. 106(2): 357-378.
- WANG, K., PLANK, T., WALKER, J.D. & SMITH, E.I. (2002) - A mantle melting profile across the Basin and Range, SW USA. *Journal of Geophysical Research*, vol. 107(ECV 5): 1-21.

Magmatismo pós-rifte na Margem Central Oeste Ibérica (Esporão da Estremadura): novas evidências obtidas a partir de dados de campo potencial

Post-rift magmatism on the Central West Iberian Margin (Estremadura Spur): new evidences from potential field data

Cláudia Escada¹*, Fernando A. M. dos Santos^{1,2}, Patrícia Represas³, Ricardo Pereira^{2,4}, João Mata^{2,5}, Filipe Rosas^{2,5} e Beatriz Silva⁵

¹ Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

² Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, Lisboa, Portugal

³ Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Estrada da Portela, 2610-999 Amadora, Portugal

⁴ Partex Oil and Gas, Rua Ivone Silva, 6, 1º andar, 1050-124 Lisboa, Portugal

⁵ Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

* claudia.escada@gmail.com

Resumo: A aquisição de novos dados de sísmica 3D ao largo de Lisboa, no Esporão da Estremadura, permitiram identificar uma nova estrutura, localizada a SW do conhecido vulcão de Fontanelas. A modelação de dados de campo potencial possibilitou a caracterização da sua natureza e geometria. Os modelos sugerem uma intrusão, semelhante a um lacólito, com natureza magmática predominantemente gabrítica. As similaridades entre a intrusão (aqui, nomeada, pela primeira vez, como Intrusão do Esporão da Estremadura - ESI) e estruturas magmáticas *onshore* e *offshore* permitiram associar esta intrusão ao evento magmático pós-rifte do Cretácico Superior.

Palavras-chave: Esporão da Estremadura, Fontanelas, Gravimetria, Magnetismo

Abstract: New evidence from 3D seismic data off Lisbon, in the Estremadura Spur, allowed the identification of a new geological structure, located SW of the Fontanelas volcano. Potential field data modelling allowed the characterisation of its nature and geometry. The models suggest a laccolith-like intrusion with a predominant gabbroic magmatic nature. The similarities with onshore and offshore magmatic structures allowed the association of this intrusion (here, named, for the first time, as Estremadura Spur Intrusion - ESI) to the Late Cretaceous post-rift magmatic event.

Keywords: Estremadura Spur, Fontanelas, Gravity, Magnetism

INTRODUÇÃO

As margens continentais do tipo rifte são uma das mais complexas entidades geológicas, compreender os processos subjacentes à sua formação e evolução, bem como o estudo dos recursos económicos associados, conduziu a academia e a indústria a investigar este tipo de margens (e.g. Alves et al., 2009; Pereira and Alves, 2011). A aquisição de novos dados geofísicos permitiu a descoberta de uma nova e enigmática estrutura, localizada ao largo de Lisboa, no Esporão da Estremadura, a sudoeste do conhecido vulcão de Fontanelas (Figura 1).

O conjunto de dados utilizado neste estudo foi adquirido em duas campanhas distintas: uma campanha 2D realizada em 2008 e uma campanha 3D em 2010. Em ambas as campanhas, foram adquiridos dados de batimetria, campo potencial (i.e., gravimetria e magnetismo) e sísmica. No

contexto deste estudo foram utilizados os dados de gravimetria e magnetismo (2D) e os dados de sísmica (3D). A metodologia compreendeu a modelação dos dados de campo potencial, constrangida pelos dados da sísmica. A não-unicidade associada aos dados de campo potencial faz com que seja imprescindível a utilização de outras fontes de informação de forma a interpretar e validar os resultados, uma vez que diferentes modelos podem produzir exatamente a mesma resposta. Por sua vez, os dados sísmicos permitem um controlo estrutural do modelo.

A disponibilidade de dados de sísmica 3D permitiu a caracterização preliminar da estrutura geológica em estudo, sugerindo tratar-se de uma estrutura magmática, com geometria semelhante a um lacólito. As semelhanças com o maciço de Sintra (em termos de área e geometria da intrusão), permitiram inicialmente sugerir uma natureza granítica.

Este trabalho está enquadrado no contexto de uma dissertação de mestrado (Escada, 2019), cujo objetivo englobava a caracterização geofísica da natureza e geometria da intrusão e do vulcão de Fontanelas, com base na modelação de dados de campo potencial constrangida por dados sísmicos, bem como testar a eventual relação da intrusão com o evento magmático regional pós-rifte do Cretácico Superior.

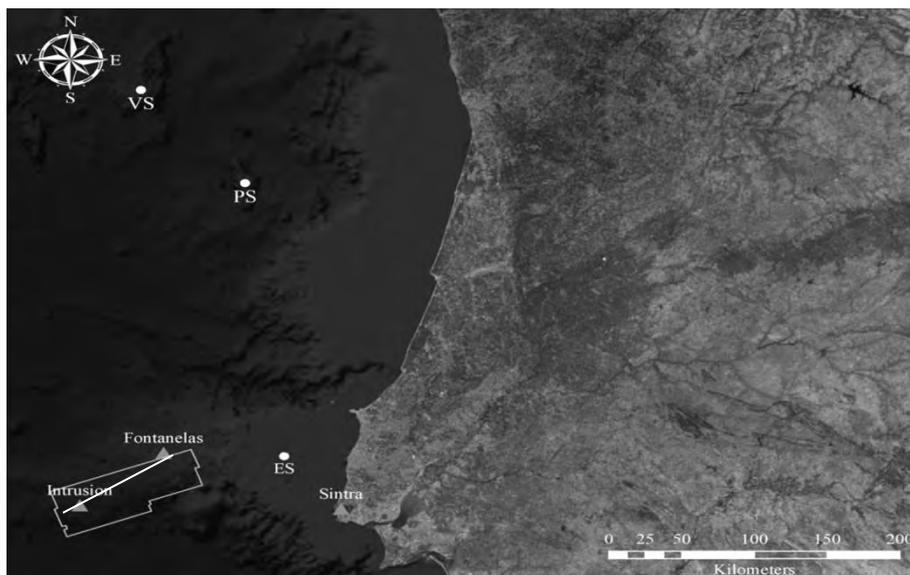


Figura 10. Enquadramento geográfico da área de estudo. O polígono representa a área de aquisição dos dados 3D, inclui a localização da intrusão e do vulcão de Fontanelas (parcialmente). A linha que se sobrepõe a estas duas estruturas indica a localização dos modelos. VS = Montanha submarina de Vigo, PS = Montanha submarina do Porto, ES = Esporão da Estremadura.

RESULTADOS – MODELOS 2D

Este estudo abrange a primeira descrição da Intrusão do Esporão da Estremadura (ESI – *Estremadura Spur Intrusion*). As principais estruturas-alvo deste estudo são a ESI e o vulcão de Fontanelas. Os resultados (Figura 11, Figura 12) da modelação serão descritos e interpretados de seguida.

Dados gravimétricos

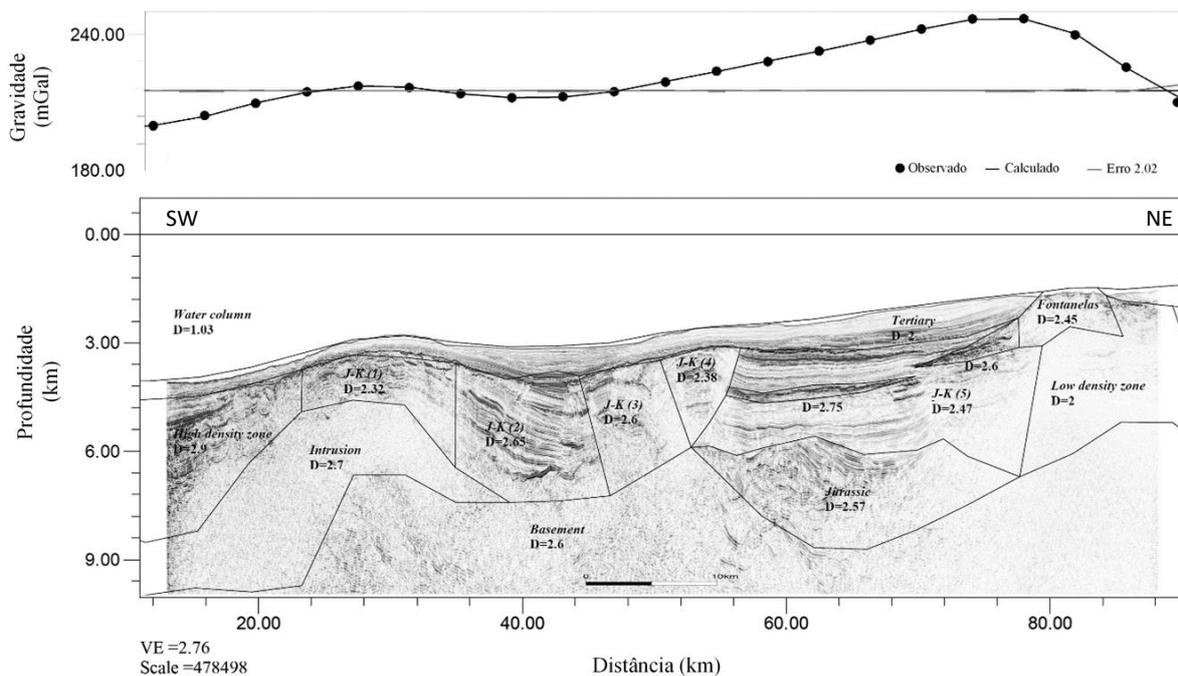


Figura 11. Modelo 2D dos dados gravimétricos. Painel superior: ajuste das anomalias observada (pontos) e calculada (linha a cheio). Painel inferior: perfil sísmico em imagem de fundo, com os valores de densidade e estrutura de cada bloco.

O vulcão de Fontanelas é caracterizado por uma forma triangular. Esta estrutura magmática foi subdividida em dois segmentos: uma zona de contato água-rocha e uma zona soterrada por sedimentos do Terciário. Os valores de densidade ($D=2.6 \text{ g/cm}^3$) e suscetibilidade magnética ($S=0.07 \text{ SI}$) determinadas para o setor soterrado permitiram interpretar a sua litologia como um basalto. Por outro lado, o setor que se encontra em contato com a água do mar é caracterizado por valores de densidade ($D=2.45 \text{ g/cm}^3$) e suscetibilidade magnética ($S=0.05 \text{ SI}$) menores devido à alteração da rocha basáltica original que constitui o vulcão. Esta interpretação corrobora com os dados publicados por Miranda et al. (2010), no qual foram recolhidas amostras de rocha do vulcão de Fontanelas.

A geometria da Intrusão do Esporão da Estremadura foi interpretada como um lacólito. Relativamente à sua natureza magmática, a interpretação é mais complexa. Com base em tabelas padrão, os valores de densidade ($D= 2.7 \text{ g/cm}^3$) e suscetibilidade magnética ($S= 0.05 \text{ SI}$) obtidos sugerem uma possível mistura de natureza granítica/gabróica. As semelhanças entre os valores de densidade e suscetibilidade obtidos para análogos *onshore* (maciços de Sintra) e *offshore* (Banco Portimão-Guadalquivir) permitiram inferir a natureza da ESI como predominantemente gabrúica. De acordo com informação sísmica, e devido às semelhanças com intrusões análogas da Margem Oeste Ibérica, foi possível associar esta intrusão ao evento magmático pós-rifte do Cretácico superior.

Dados magnéticos

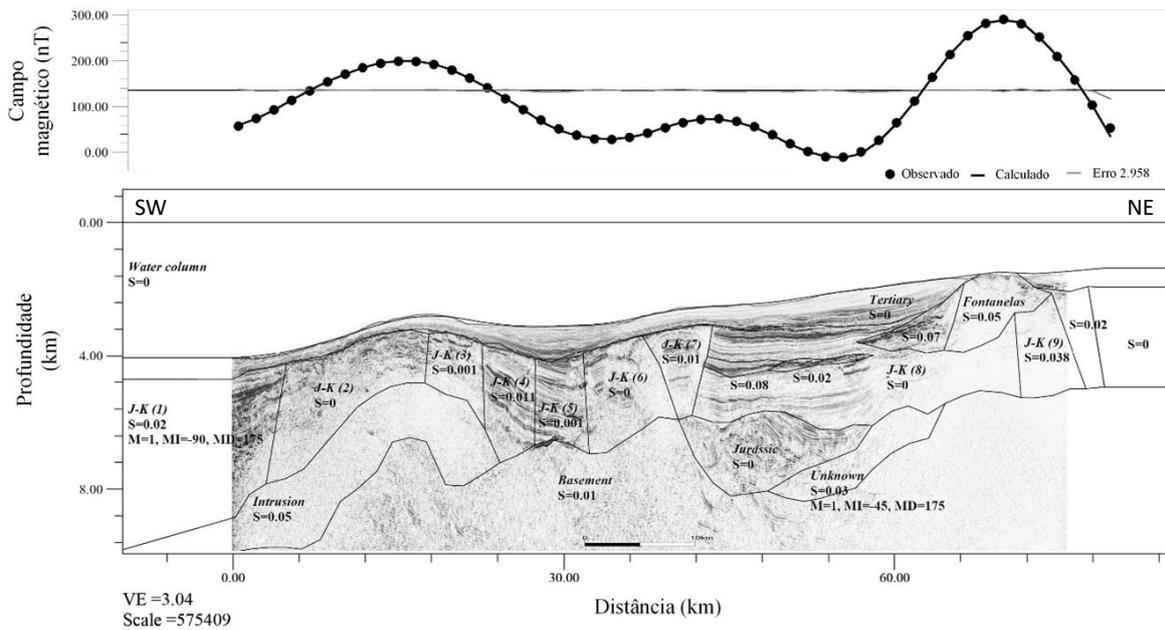


Figura 12. Modelo 2D dos dados magnéticos. Painel superior: ajuste das anomalias observada (pontos) e calculada (linha a cheio). Painel inferior: perfil sísmico em imagem de fundo, com os valores de densidade e estrutura de cada bloco.

CONCLUSÕES

A Margem Oeste Ibérica foi investigada com base nos dados de campo potencial, de forma a clarificar a natureza e geometria das duas estruturas magmáticas *offshore* do Cretácico Superior. Os resultados desta análise revelaram que: 1) a natureza magmática do vulcão de Fontanelas é basáltica e corrobora com os dados bibliográficos disponíveis (Miranda et al., 2010), 2) a ESI é uma intrusão magmática de geometria lacolítica e de natureza predominantemente gabróica e 3) as semelhanças entre estruturas magmáticas *onshore* e *offshore*, permitiram associar a ESI ao evento magmático do Cretácico Superior. Este estudo tem várias implicações nos atuais modelos de evolução da Margem Oeste Ibérica, nos modelos de instalação dos corpos ígneos associados ao evento magmático do Cretácico Superior e, por fim, nos sistemas petrolíferos.

Bibliografia

- Alves, T.M., Moita, C., Cunha, T., Ullnaess, M., Myklebust, R., Monteiro, J.H., Manuppella, G., 2009. Diachronous evolution of late jurassic-cretaceous continental rifting in the northeast atlantic (west iberian margin). *Tectonics* 28, 1–32. <https://doi.org/10.1029/2008TC002337>
- Escada, C., 2019. Post-rift magmatism on the Central West Iberian Margin (Estremadura Spur): new evidences from potential field data. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Miranda, R., Terrinha, P., Mata, J., Azevedo, R., Chadwick, J., Lourenço, N., Moreira, M., 2010. Caracterização geoquímica do monte submarino de Fontanelas, Margem Oeste Ibérica, in: Flores, D., Marques, M. (Eds.), X Congresso de Geoquímica Dos Países de Língua Portuguesa, XVI Semana de Geoquímica. Universidade do Porto (Porto), pp. 151–156.
- Pereira, R., Alves, T.M., 2011. Post-rift compression on the Southwest Iberian margin (Eastern North Atlantic): A case of prolonged inversion in the Ocean-Continent Transition. *J. Geol. Soc. London*. 168, 1249–1263. <https://doi.org/10.1144/0016-76492010-151>

COMUNICAÇÕES EM POSTER
POSTER COMMUNICATIONS

Distribuição das Terras Raras (REE) em águas superficiais associadas ao Plutonito do Caramulo

Distribution of Rare Earth Elements (REE) in surface waters associated with the Caramulo Pluton

L. Ferreira^{1*}, M.R. Azevedo¹, N. Durães¹, C. Patinha¹

¹ Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências; Unidade de Investigação GeoBioTec (UID/GEO/04035/2019), 3810-193 Aveiro, Portugal

* lrf@ua.pt

Resumo: A distribuição das terras raras (REE) nas águas superficiais que drenam o Maciço Granítico do Caramulo mostra que: (a) as concentrações em REE tendem a aumentar da estação seca para a chuvosa, traduzindo a intensificação dos processos de meteorização química na época das chuvas; (b) as águas de ambas as campanhas possuem anomalias positivas de Eu, indicando que as reações de hidrólise da plagioclase tiveram um papel fundamental nos processos de interação água-rocha que ocorreram na região e (c) todas as amostras investigadas estão enriquecidas em terras raras pesadas (HREE) ($La_N/Tm_N = 0,0001 - 0,0023$), sugerindo que a mobilização de terras raras leves (LREE) para as águas de circulação superficial foi inibida pela precipitação e/ou retenção em minerais secundários ricos nestes elementos nos solos residuais, enquanto as HREE terão sido mais facilmente libertadas para a fase líquida.

Palavras-chave: Plutonito do Caramulo, águas superficiais, terras raras.

Abstract: The distribution of rare earth elements (REE) in the surface waters draining the Caramulo granite pluton shows that: (a) their REE contents increase from the dry to the wet season, reflecting the increasing intensity of weathering in the wet season; (b) the water samples from both campaigns display pronounced positive Eu anomalies, indicating that plagioclase dissolution played a major role during water-rock interaction processes; (c) all the water samples are strongly enriched in heavy rare earth elements (HREE) ($La_N/Tm_N = 0,0001 - 0,0023$), suggesting that the migration of light rare earth elements (LREE) into the circulating water was prevented by the precipitation of LREE-rich secondary minerals in the soil, while the HREE were more easily released to the waters.

Keywords: Caramulo pluton, surface waters, rare earth elements (REE).

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E HIDROGRÁFICO

A região do Caramulo está localizada no Centro de Portugal e insere-se, do ponto de vista geológico, na Zona Centro Ibérica (ZCI) do Maciço Ibérico. É uma área constituída por intrusões graníticas de idade varisca, sincinemáticas com o último evento de deformação dúctil (sin-D₃), implantadas em metassedimentos do Ediacarano - Câmbrico (pertencentes ao Grupo das Beiras do Complexo Xisto-Grauváquico) (Godinho, 1980).

O principal maciço granítico que aflora na região, designado na literatura por plutonito do Caramulo, apresenta uma forma grosseiramente elíptica e uma estrutura anelar, conferida pela presença de quatro fácies principais de granitos de duas micas (Caramulo, Paredes, Almijofa e Macieira de Alcoba) dispostas radialmente (Fig. 1), cujas características petrográficas, mineralógicas e geoquímicas foram descritas em pormenor por Godinho (1980).

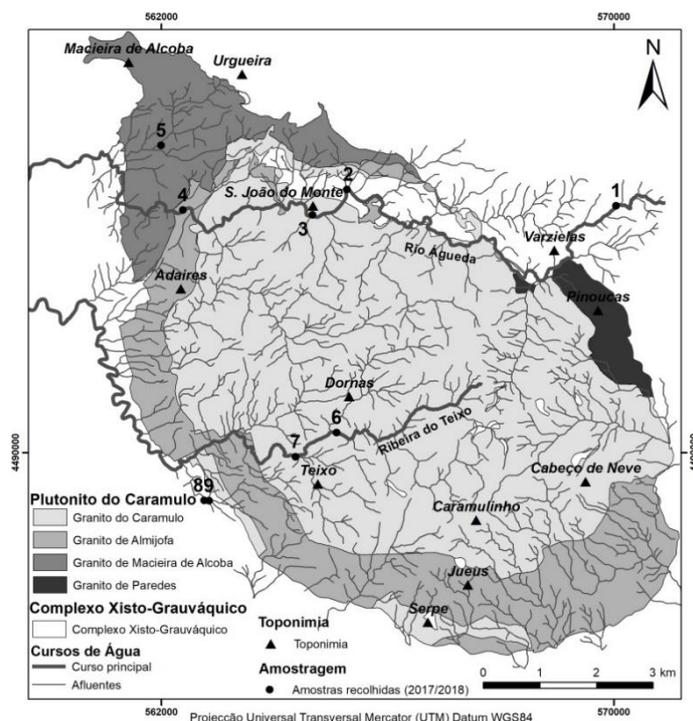


Figura 1: Mapa geológico simplificado do plutonito do Caramulo (adaptado de Godinho, 1980), mostrando a rede de drenagem e a localização das amostras de águas.

O presente trabalho incidiu num conjunto de amostras de águas superficiais colhidas em nove pontos de amostragem distribuídos ao longo de dois cursos de água que drenam a vertente ocidental da Serra do Caramulo: o Rio Águeda e a Ribeira do Teixo (Fig. 1). O rio Águeda nasce numa área composta por metassedimentos do Complexo Xisto Grauváquico (CXG), tem uma grande parte do seu percurso no contacto entre o CXG e o granito do Caramulo e só depois atravessa o plutonito. Em contraste, a Ribeira do Teixo nasce no interior do maciço granítico (granito do Caramulo) e circula através deste granito e do granito de Almijofa antes de cruzar o limite oeste da intrusão.

MATERIAIS E MÉTODOS

A amostragem de águas superficiais foi realizada durante duas campanhas: uma em novembro de 2017 (final da época seca) e outra em abril de 2018 (época chuvosa). A determinação das concentrações dos principais catiões e dos elementos traço (incluindo as REE) foi efetuada por espetrometria de massa de plasma acoplado indutivamente (ICP-MS), no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, usando um equipamento da marca Agilent Technologies 7700 Series.

CARATERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

Os dados hidroquímicos e isotópicos ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) apresentados por Ferreira *et al.* (2018; 2019) revelam que as águas superficiais analisadas correspondem a águas cloretadas sódicas (Cl = 4,1 - 12,8 mg/L; Na = 3,52 - 7,96 mg/L), com mineralizações muito baixas (TDS = 9 - 151 ppm), valores de pH entre 5,61 e 7,25 e razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ compreendidas entre 0,71662 e 0,72147. De acordo com os

mesmos autores, o domínio de cloreto de sódio nestas drenagens pode ser atribuído, em grande parte, à contribuição de aerossóis marinhos provenientes da costa atlântica. Ferreira *et al.* (2018; 2019) demonstram ainda que as abundâncias relativas das principais espécies catiónicas nestas águas (Na = 3,52 - 7,96 mg/L; K = 0,12 - 1,80 mg/L; Mg = 0,19 - 1,30 mg/L; Ca = 0,14 - 2,96 mg/L) foram controladas essencialmente pela interação entre águas meteóricas (precipitação local / escoamento) e as rochas silicatadas encaixantes (graníticas e metamórficas), tendo as reações de hidrólise da plagioclase (rica em Na) desempenhado um papel fundamental nestes processos. A dissolução preferencial de uma fase mineral com razões Rb/Sr e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ baixas, como é o caso da plagioclase, permite explicar o desfasamento entre as assinaturas isotópicas das águas amostradas ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,71662$ e $0,72147$) e as do substrato rochoso ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,74866-0,84739$), constituindo mais uma evidência da influência dos mecanismos de lixiviação da plagioclase na composição química e isotópica das águas de escorrência da região (Ferreira *et al.*, 2019).

DISTRIBUIÇÃO DAS TERRAS RARAS

Devido ao seu elevado grau de imobilidade em meios aquosos, as terras raras (REE) estão presentes em quantidades vestigiais nas águas superficiais e subterrâneas (Aubert *et al.*, 2001). Com efeito, todas as amostras analisadas possuem concentrações totais em REE extremamente baixas ($\Sigma\text{REE} = 0,034 - 0,4866$ ppm), notando-se, contudo, que as águas colhidas na estação seca se distinguem das amostradas na estação chuvosa pelo seu carácter mais empobrecido. Estas diferenças mostram que a disponibilidade de água no sistema aquoso e o aumento da superfície de contacto água-rocha favorecem a dissolução dos minerais primários concentradores de REE, promovendo a transferência de REE para as águas de circulação superficial (Aubert *et al.*, 2001).

Como se pode observar na Figura 2 a-b, os perfis de REE, normalizados para o NASC - “North American Shale Composite”, das amostras de águas de ambas as campanhas são caracterizados por uma pronunciada anomalia positiva de Eu ($\text{Eu}_N/\text{Eu}_N^* = 3,22 - 9,10$) e um acentuado enriquecimento das terras raras pesadas (HREE) em relação às terras raras leves (LREE) ($\text{La}_N/\text{Tm}_N = 0,0001 - 0,0023$).

Sendo o Eu o único dos elementos do grupo das REE que é incorporado pelos feldspatos, a presença de anomalias positivas de Eu nas escorrências superficiais analisadas vem demonstrar que a hidrólise da plagioclase deverá ter sido a principal fonte de Eu para as águas da área estudada, corroborando as conclusões retiradas por Ferreira *et al.* (2018; 2019).

Por outro lado, as baixas razões LREE/HREE sugerem que ocorreu um fracionamento significativo entre as LREE e as HREE durante os processos de alteração dos minerais primários ricos em REE (*e.g.* apatite, monazite e zircão). Este tipo de comportamento tem sido atribuído à combinação de dois fatores principais: (a) substituição das fases acessórias portadoras de REE por minerais secundários fosfatados com uma forte preferência pelas LREE, que ficam retidos nos solos residuais (*e.g.* Aubert

et al., 2001) e (b) maior apetência das HREE para formar complexos iónicos solúveis, devido aos seus menores raios iónicos (Chen *et al.*, 2017).

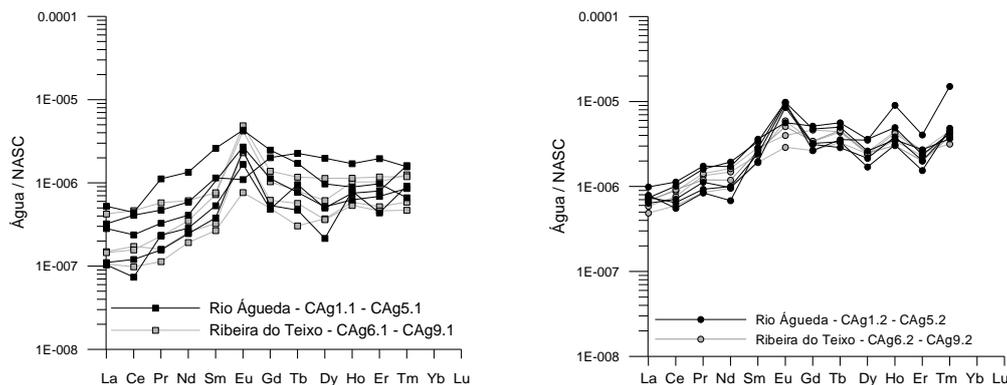


Figura 2: Perfis de REE normalizados para a composição NASC (Taylor & McLennan, 1985). (a) Águas superficiais colhidas na estação seca e (b) Águas superficiais colhidas na estação chuvosa.

Em algumas das águas analisadas (particularmente nas da estação seca) é visível uma anomalia negativa de Ce de amplitude variável (Fig. 2a-b), refletindo possivelmente a sua remoção por fases secundárias como a cerianite (CeO_2) e/ou óxidos e hidróxidos de Fe e Mn (Chen *et al.*, 2017).

CONCLUSÕES

A distribuição das REE nas águas superficiais que drenam o Maciço Granítico do Caramulo mostra que:

- as concentrações em REE nas águas estudadas tendem a aumentar da estação seca para a chuvosa, traduzindo a intensificação dos processos de meteorização química na época das chuvas;
- as águas colhidas nas duas campanhas possuem anomalias positivas de Eu, indicando que as reações de hidrólise da plagioclase tiveram um papel fundamental nos processos de interação água-rocha;
- todas as amostras investigadas estão enriquecidas em HREE ($\text{La}_N/\text{Tm}_N = 0,0001 - 0,0023$), sugerindo que a mobilização de LREE para as águas de circulação superficial foi inibida pela precipitação e/ou retenção em minerais secundários ricos nestes elementos nos solos residuais, enquanto as HREE terão sido mais facilmente libertadas para a fase líquida.

Referências

- Aubert, D., Stille, P., Probst, A. (2001). REE fractionation during granite weathering and removal by waters and suspended loads: Sr and Nd isotopic evidence. *Geochim. Cosmochim. Acta* 65 (3): 387-406.
- Chen, L., Ma, T., Du, Y., Xiao, C. (2017). Dissolved rare earth elements of different waters in Qaidam Basin, northwestern China. *Procedia Earth Planet. Sci.* 17: 61-64.
- Ferreira, L., Azevedo, M.R., Durães, N., Ribeiro, S. (2019). Razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em águas superficiais e sedimentos de linhas de água da região do Caramulo (centro de Portugal), *Livro de Actas XII Congresso Ibérico de Geoquímica*, Évora, 22-25 Setembro 2019, 329-332
- Ferreira, L., Couto, A., Azevedo, M.R., Durães, N. (2018). Caracterização hidroquímica e razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de águas superficiais associadas ao Plutonito do Caramulo. *Livro de Actas do VIII Congresso de Jovens Investigadores em Geociências*, LEG 2018, Estremoz, 154-157.
- Godinho, M.M. (1980). O plutonito do Caramulo. *Mem. Not., Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra* 89-90, 269 pp.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M. (1985). The Continental Crust: Its composition and evolution - An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Blackwell, Oxford, 312 pp.

Novos dados elementares e isotópicos (Sr-Nd) para metassedimentos do Complexo Xisto Grauváquico do setor oeste da Zona Centro Ibérica

New geochemical and Sr-Nd isotope data for metasediments of the Schist and Greywacke Complex of the western sector of the Central Iberian Zone

L. Portela^{1*}, M.R. Azevedo¹, J. Medina¹, S. Ribeiro¹

¹ Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências; Unidade de Investigação GeoBioTec (UID/GEO/04035/2019), 3810-193 Aveiro, Portugal

* luispedroportela@ua.pt

Resumo: Os dados geoquímicos e isotópicos obtidos em seis amostras de metapelitos e metagrauwaques pertencentes ao Grupo das Beiras do Complexo Xisto Grauváquico sugerem que a deposição dos seus percussores sedimentares ocorreu num ambiente geodinâmico de convergência de placas e envolveu a contribuição de materiais derivados da erosão de uma crosta continental antiga reciclada e de um arco ígneo jovem diferenciado.

Palavras-chave: metassedimentos do Grupo das Beiras, isótopos de Sr-Nd, proveniência.

Abstract: The geochemical and isotope data obtained for six samples of metapelites and metagreywackes belonging to the Beiras Group of the Schist and Greywacke Complex suggest that the deposition of their sedimentary precursors occurred at an active tectonic setting and involved the mixed contribution of materials derived from an old felsic continental crust and a young differentiated igneous arc.

Key-words: metasediments of the Beiras Group, Sr-Nd isotopes, provenance.

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

Os metassedimentos do Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovício (CXG) / Super-Grupo Dúrico-Beirão ocupam extensas áreas da Zona Centro-Ibérica (ZCI). Constituem uma possante sequência de metapelitos e metagrauwaques, na qual se podem intercalar níveis de conglomerados e de rochas carbonatadas, afetados por deformação e metamorfismo regional de intensidade variável durante a colisão continental Varisca no final do Paleozóico (e.g. Ribeiro *et al.*, 1979).

No setor português da ZCI, o CXG reparte-se por duas grandes unidades litoestratigráficas: o Grupo do Douro e o Grupo das Beiras (e.g. Sousa, 1982; Silva, 2005). O Grupo das Beiras aflora a sul do alinhamento Porto-Viseu-Guarda (Dias, 1998) e corresponde a uma série turbidítica, não carbonatada, à qual tem sido atribuída uma idade Ediacarana (e.g. Pereira *et al.* 2012; Pereira, 2015 e referências aí contidas). Em contrapartida, as formações do Grupo do Douro estão representadas a norte do referido alinhamento (Dias, 1998), registam condições de sedimentação de fácies turbidítica menos profundas (com ocorrências calciturbidíticas) e têm idades compreendidas entre o Ediacarano e o Câmbrico inferior (e.g. Talavera *et al.*, 2012). O presente estudo incidiu em seis amostras de

metapelitos e metagrauwaques de baixo grau metamórfico do Grupo das Beiras, localizadas no setor mais ocidental da ZCI (Fig. 1).

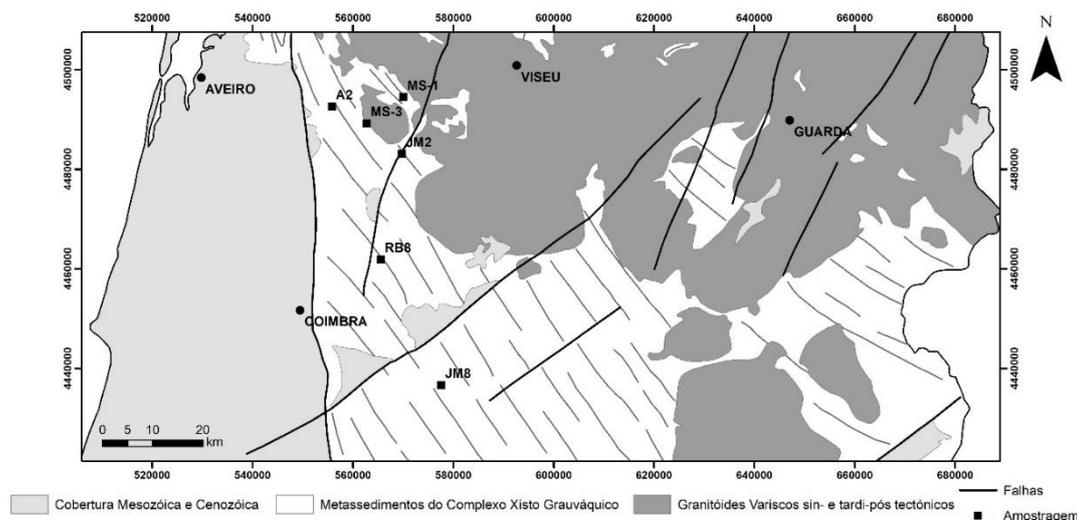


Figura 1: Mapa geológico simplificado da região amostrada.

TÉCNICAS ANALÍTICAS

As composições em elementos maiores e traço (incluindo REE) das amostras estudadas foram efetuadas no Actlabs (Ontário, Canadá) por ICP-AES (elementos maiores) e ICP-MS (elementos traço), usando o pacote analítico 4LITHORESEARCH. As análises isotópicas Sr-Nd foram realizadas por espectrometria de massa de ionização térmica (TIMS) no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade de Aveiro.

CARATERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

No diagrama de Herron (1988), as seis amostras de metaturbiditos do Grupo das Beiras distribuem-se entre os campos dos argilitos e dos grauwaques (Fig. 2a), confirmando o caráter predominantemente pelítico-grauvacóide dos seus protólitos sedimentares. O fato destas rochas apresentarem valores do índice de alteração química (CIA) relativamente altos (CIA = 69-83) sugere que os sedimentos siliciclásticos originais derivaram de fontes crustais com um historial de meteorização química prolongado (recicladas).

Por outro lado, as suas elevadas razões Al_2O_3/TiO_2 (> 17) e os seus perfis de REE (Fig. 2b) apontam para uma proveniência a partir de áreas-fonte com composição ígnea ácida e/ou intermédia, como é bem evidenciado pelo enriquecimento relativo das LREE em relação às HREE ($La_N/Yb_N = 5,99 - 7,93$), fraco fracionamento das HREE, presença de anomalias negativas de Eu ($Eu_N/Eu^*_N = 0,66 - 0,75$) e forte semelhança com o perfil do PAAS (Fig. 2b).

A projeção das suas composições em elementos traço imóveis em diagramas de discriminação de ambiente tectónico de sedimentação (Fig. 3) permite concluir ainda que a deposição da sequência das Beiras terá ocorrido num contexto geodinâmico de convergência de placas, na dependência de um arco ígneo ácido.

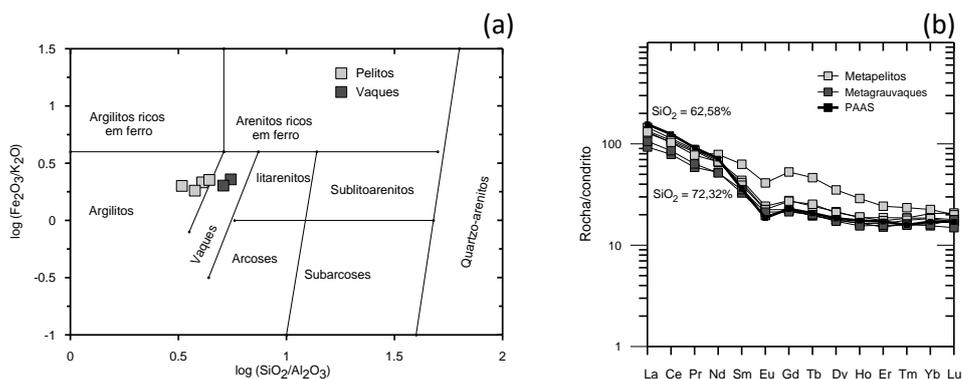


Figura 2: (a) Projeção das amostras de metassedimentos do Grupo das Beiras no diagrama de Herron (1988); (b) Perfis de REE normalizados para o condrito Evensen *et al.* (1978) das amostras estudadas, mostrando também a composição do PAAS (*Post-Archean average Australian Shale*) (Taylor & McLennan, 1985).

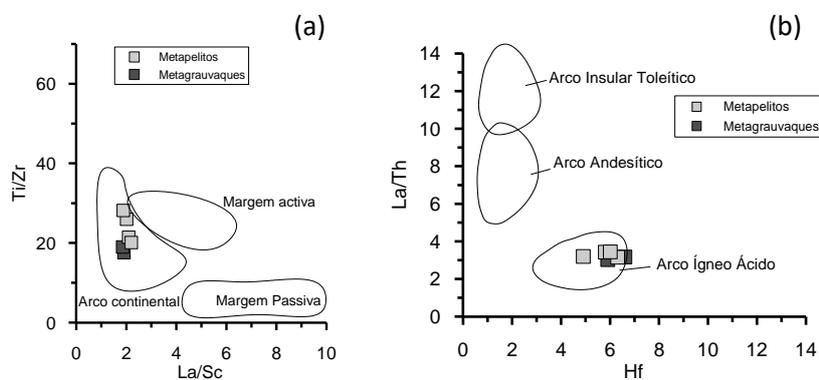


Figura 3: Projeção das amostras estudadas nos diagramas: (a) Ti/Zr vs. La/Sc (Bhatia & Crook, 1986) e (b) La/Th vs. Hf (Floyd & Leveridge, 1987).

A fraca expressão modal da plagioclase e do feldspato potássico nas rochas do Grupo das Beiras não é, à partida, compatível com um contributo importante de fontes ígneas juvenis, pois as altas taxas de erosão prevaletentes num ambiente de arco jovem diferenciado deveriam dar origem a sedimentos ricos em feldspatos. É possível, contudo, que a formação destes depósitos tenha resultado de uma mistura de fontes, envolvendo uma componente de crosta continental antiga reciclada e uma componente magmática juvenil (e.g. Beetsma, 1995; Villaseca *et al.*, 2014).

GEOQUÍMICA ISOTÓPICA (Sr-Nd)

Para uma presumível idade de deposição de 540 Ma, as amostras estudadas apresentam valores de $\epsilon_{\text{Sr}_{540}}$ variando entre -36,9 e 112,0 e de $\epsilon_{\text{Nd}_{540}}$ entre -3,75 e -1,14. A significativa heterogeneidade de valores de $\epsilon_{\text{Sr}_{540}}$, bem como a ocorrência de algumas amostras com valores negativos de $\epsilon_{\text{Sr}_{540}}$, são aqui interpretados como resultado da vulnerabilidade do sistema isotópico Rb-Sr à ação de fluidos tardios, inviabilizando a sua utilização como indicadores de proveniência.

Sendo o sistema Sm-Nd muito pouco sensível aos efeitos dos processos de interação rocha-fluido, o enriquecimento em Nd radiogénico observado nas rochas analisadas ($\epsilon_{\text{Nd}_{540}} = -3,75$ e $-1,14$) constitui uma forte evidência de que, para além da contribuição de sedimentos provenientes de fontes

crustais antigas (com ϵNd muito negativo), a bacia das Beiras também terá recebido um “input” de material detrítico de origem juvenil (com ϵNd positivo ou pouco negativo).

Verifica-se ainda que as idades modelo (T_{DM}) das amostras investigadas ($T_{\text{DM}} = 1,12\text{-}1,35$ Ga) são mais antigas do que a sua suposta idade de deposição, o que é coerente com a participação de fontes com um historial prolongado de permanência na crosta. No entanto, de acordo com a bibliografia, os zircões detríticos com idades neste intervalo são escassos, corroborando a hipótese de os sedimentos da série das Beiras terem uma origem mista (componente crustal reciclada + material vulcânico juvenil), tal como postulado por outros autores (e.g. Beetsma, 1995; Villaseca *et al.*, 2014).

CONCLUSÕES

Os dados geoquímicos e isotópicos obtidos em seis amostras pertencentes ao Grupo das Beiras do Complexo Xisto Grauváquico sugerem que a deposição dos seus percursos sedimentares ocorreu num ambiente geodinâmico de convergência de placas e envolveu a contribuição de materiais derivados da erosão de uma crosta continental antiga reciclada e de um arco ígneo jovem diferenciado.

Bibliografia

- Bhatia, M.R., Crook, K.A.W. (1986). Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92, 181–193.
- Beetsma, J.J. (1995). The late Proterozoic / Paleozoic and Hercynian crustal evolution of the Iberian Massif, N Portugal. Tese de Doutoramento, Vrije Universiteit Amsterdam. 223 pp
- Dias, R. (1998). Estrutura varisca do autóctone do Terreno Ibérico Português. *Comun. Inst. Geol. Min.*, Portugal 85: 29-38.
- Evensen, N.M., Hamilton, P.J., O’Nions, R.K. (1978). Rare-earth abundances in chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 42/8: 1199-1212.
- Floyd, P.A., Leveridge, B.E. (1987). Tectonic environments of Devonian Gramscathobasin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbidity sandstones. *J. Geol. Soc. London* 144: 181–204.
- Herron, M.M. (1988). Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *J. Sed. Petrol.* 58: 820-829.
- Pereira, J. (2015). Potential sources of Ediacaran strata of Iberia: a review. *Geodin. Acta*, 27 (1): 1–14.
- 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 Res.* 192-195: 166-189.
- Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, J.H., Carvalho, D., Monteiro, J.H. (1979). Introduction a la Géologie Générale du Portugal. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 114 pp.
- Silva, A.F. (2005). Litostratigrafia e Estrutura do Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico). Inst. Nac. Eng. Tec. Inov., Lisboa, 480 pp.
- Sousa, M.B. (1982). Litoestratigrafia e estrutura do Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico Grupo do Douro. Tese de Doutoramento, Univ. Coimbra, 222 pp.
- Talavera, C., Montero, P., Martínez Poyatos, D., Williams, I.S. (2012). Ediacaran to Lower Ordovician age for rocks ascribed to the Schist-Graywacke Complex (Iberian Massif, Spain): Evidence from detrital zircon SHRIMP U-Pb geochronology. *Gondwana Res.* 22: 928-942.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M. (1985). The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell, Oxford, 1-312.
- 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 Res.* 245: 131–145.

Avaliação do potencial do biochar e composto para a revegetação da escombreira da mina de Escádia Grande com *Hirschfeldia incana*

*Assessment of the potential of biochar and compost for the revegetation of the Escádia Grande mine tailings with *Hirschfeldia incana**

M. Barbosa^{1*}, A.R.A. Alves¹, L.A.B. Novo¹

¹Laboratório de Fitotecnologias Experimentais e Aplicadas (LEAPH), GeoBioTec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Portugal

* m.barbosa@ua.pt

Resumo: Solos de escombreira de minas constituí uma ameaça ao meio ambiente e à saúde pública. As fitotecnologias constituem uma alternativa sustentável e económica aos métodos convencionais para a remediação de solos contaminados, uma vez que estes são frequentemente prejudiciais ao ambiente e dispendiosos. Neste estudo é avaliado o potencial do biochar e composto para promover o desenvolvimento de *Hirschfeldia incana* em solos de escombreira da mina de Escádia Grande. Para o efeito, o solo da escombreira foi manipulado com biochar e composto nas proporções de 1% / 9%, 1.5% / 13.5%, e 2% / 18%, respetivamente. Foram analisados diferentes parâmetros que permitiram caracterizar o estado fisiológico das plantas e a qualidade dos solos. Os resultados obtidos sugerem que todos os tratamentos aplicados promoveram eficazmente o desenvolvimento da planta.

Palavras-chave: escombreiras, revegetação, corretivos orgânicos, *Hirschfeldia incana*

Abstract: Mine tailings soils are a threat to the environment and public health. Phytotechnologys are a sustainable and eco-friendly alternative to conventional methods for remediation of contaminated soils, as the latter as often environmentally harmful and costly. In this study is avaliated the potencial of biochar and compost to promote the development of *Hirschfeldia incana* in heap soils from Escádia Grande mine. For this effect, the soil of the heap was manipulated with biochar and compost in the proportions of 1% / 9%, 1.5% / 13.5%, and 2% / 18%, respectively. Different parameters were analyzed which allowed to characterize the physiological state of the plants and the quality of the soils. The results suggest that all applied treatments effectively promoted plant development.

Key-words: mine tailings, revegetation, organic amendments, *Hirschfeldia incana*

INTRODUÇÃO

Solos estéreis, derivados de escombreiras de minas, são caracterizados pela sua instabilidade, reduzida coesão, baixo teor em matéria orgânica e, principalmente, pela sua elevada concentração em elementos vestigiais, maioritariamente metais pesados, proporcionando um meio insustentável para o desenvolvimento biológico (Novo & González, 2014). O uso de corretivos de solos é uma estratégia comum para o melhoramento das suas propriedades através do aumento do pH, o que reduz a solubilidade dos metais, e do aumento de nutrientes e matéria orgânica, essenciais à dinâmica do solo (Ingh, 2005). Biochar é um carvão biológico produzido através da degradação térmica de materiais orgânicos por pirólise. Contribui para o aumento do pH e para o aumento da retenção de nutrientes (Lehmann et al., 2011). Composto é um corretivo orgânico produzido a partir

de resíduos provenientes do setor agrícola ou de atividades antropogénicas, frequentemente utilizado na remediação de solos contaminados. Fornece nutrientes e matéria orgânica, ajuda a prevenir a erosão dos solos e desencadeia a ligação de metais catiónicos a superfícies da matéria orgânica, reduzindo a sua mobilidade (Novo & González, 2014).

A fitoestabilização, uma das vertentes da fitorremediação, é um método *in situ* que consiste no uso de determinadas plantas juntamente com materiais corretivos para a estabilização de metais vestigiais em solos contaminados. As metalófitas são plantas tolerantes a elevadas concentrações de metais vestigiais sendo um elemento chave neste processo. Possuem mecanismos que permitem a imobilização de metais na rizosfera através de sorção pelas suas raízes, e pela exsudação de substâncias quelantes que incorporam os metais, reduzindo a sua valência e, conseqüentemente, a sua toxicidade e mobilidade. Deste modo, a fitoestabilização limita a acumulação de metais pesados na biota e minimiza a sua lixiviação para as reservas de água subterrâneas (Ali, Khan, & Anwar, 2013).

H. incana, membro da família *Brassicaceae*, é uma planta herbácea pseudometalófito comumente encontrada na região Mediterrânea. Vários estudos científicos consideram esta planta a candidata ideal para a remediação de solos contaminados devido à sua capacidade de desenvolvimento em meios com elevadas concentrações de metais pesados, e de rápida produção de biomassa, garantindo uma cobertura vegetal num curto intervalo de tempo (Doumas, 2016).

O presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial dos corretivos orgânicos biochar e composto para promover o crescimento e desenvolvimento de *H. incana* em solos de escombreira da Mina de Escádia Grande, como também aferir a sua aptidão para a fitoestabilização.

MATERIAIS E MÉTODOS

O solo utilizado para este ensaio foi recolhido na escombreira da mina de Escádia Grande nas seguintes coordenadas: 40° 4'44.70"N, 8° 6'57.87"W. Esta mina, atualmente inativa, situa-se na Serra da Lousã, concelho de Góis no distrito de Coimbra. Assenta sobre um jazigo constituído por filões de sulfuretos auro argentíferos e quartzo, localizado em xistos ante silúricos da Zona Centro-Ibérica (Mondlane, Pita, & Pratas, 2014). A tabela 1 sumariza as quantidades e proporções de solo e de ambos os corretivos utilizados, biochar e composto (Los Ridella, Murcia, Spain), (n=3).

Tabela 1. Percentagem dos componentes utilizados e respetivas quantidades.

Id	Solo		Biochar		Compost	
	g	%	g	%	g	%
CTRL	3834.00	100	–	–	–	–
BC1	3450.60	90	12.78	1	115.02	9
BC2	3258.90	85	57.51	1.5	517.59	13.5
BC3	3067.20	80	76.68	2	690.12	18
Total (g)	13610.70		146.97		1322.73	

As concentrações dos elementos vestigiais no solo de controlo (CTRL) foram determinadas através de espectrometria de massa por plasma acoplado indutivamente (ICP-MS). Foram

germinadas doze plantas *H. incana*, uma por cada vaso, onde cresceram durante quatro meses em condições controladas numa câmara de crescimento, até terem atingido a maturidade. Posteriormente, deu-se início ao procedimento experimental. O pH foi medido com um medidor multiparâmetros (S-620, Peak Instruments). A biomassa da raiz e parte aérea de cada planta foi obtida após a sua lavagem e secagem na estufa a 45°C, durante 24 horas. Foram ainda analisados diferentes parâmetros bioquímicos que permitiram avaliar o estado fisiológico das plantas. A quantificação dos pigmentos fotossintéticos clorofila a (Cla); clorofila b (Clb); carotenoides (Car); antocianinas (Ant), foi obtida através do método de Sims & Gamon (2002). As concentrações de peróxido de hidrogénio (H₂O₂) nas folhas, foram determinadas de acordo com o método descrito por Velikova et al. (2000). A eficiência fotoquímica foi medida através de um fluorómetro (PAR-FluorPen FP 110/D, Photon Systems Instruments). Não foi possível determinar os três últimos parâmetros mencionados no CTRL devido à sua reduzida biomassa. A análise estatística foi realizada com base nas 3 réplicas de cada ensaio, e os valores apresentados correspondem à média ± desvio padrão. Diferenças significativas foram determinadas através de análise de variância (ANOVA), com o programa IBM SPSS Statistics.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações obtidas dos elementos vestigiais mais relevantes presentes no solo de escombreira estão representadas na tabela 2.

Tabela 2. Concentração dos elementos vestigiais mais prejudiciais presentes no solo da escombreira da mina de Escádia Grande, apresentados na forma de média ± desvio padrão.

Elementos vestigiais	mg Kg ⁻¹
Arsénio (As)	666.00 ± 89.52
Zinco (Zn)	204.95±24.30
Cobre (Cu)	56.10 ± 11.29
Crómio (Cr)	44.30 ± 1.13
Chumbo (Pb)	44.22 ±10.39
Cádmio (Cd)	0.94 ± 0.08

Todos os solos manipulados exibem pHs significativamente superiores ao solo CTRL. BC2 é significativamente superior ao CTRL e a BC1. O tratamento BC3 não apresenta diferenças significativas relativamente a BC1 e BC2 (figura1).

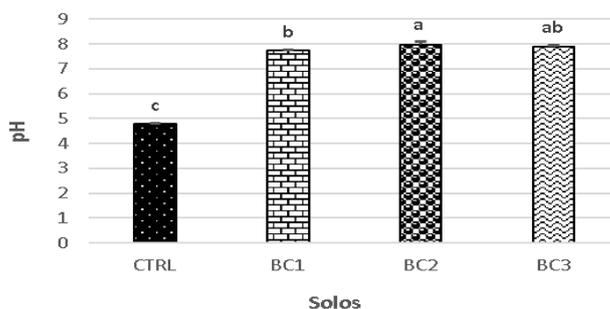


Figura 1. Valor de pH para cada solo manipulado e para o solo de escombreira. Letras distintas indicam diferenças significativas, $p < 0.05$.

A biomassa referente à parte aérea das plantas é significativamente reduzida no CTRL comparativamente a BC1, BC2 e BC3, não se verificando diferenças significativas entre os solos manipulados (fig.2). A biomassa referente à raiz é significativamente superior em BC1e BC2 relativamente a CTRL. BC3 não apresenta diferenças significativas em relação a BC1 e BC2.

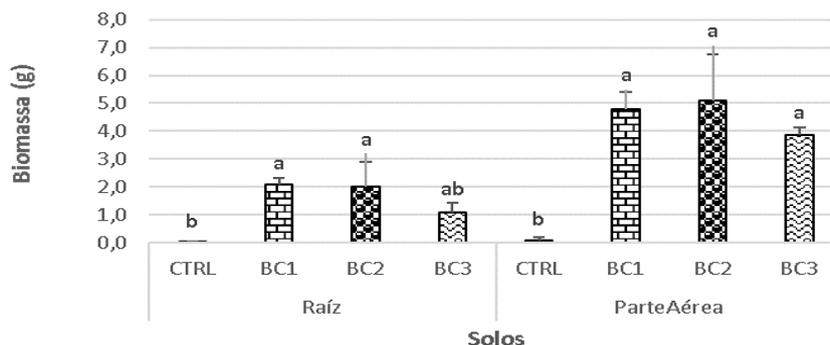


Figura 2. Biomassa da raiz e da parte aérea das plantas germinadas no solo da escombreira e nos solos manipulados. Letras distintas indicam diferenças significativas, $p < 0.05$.

Não se verificam diferenças significativas nas concentrações dos pigmentos fotossintéticos e dos peróxidos de hidrogénio (H_2O_2), assim como na eficiência fotoquímica entre os diferentes solos manipulados (tabela 3).

Tabela 3. Concentração dos pigmentos fotossintéticos e dos peróxidos de hidrogénio ($\mu\text{mol g}^{-1}$), e eficiência fotoquímica obtida para cada solo manipulado. Letras distintas indicam diferenças significativas, $p < 0.05$.

	Clor	Car	Ant	Car		
BC1	0.297 ± 0.153 a	0.185 ± 0.041 a	0.358 ± 0.350 a	0.217 ± 0.086 a	0.827 ± 0.015 a	0.827 ± 0.015 a
BC2	0.518 ± 0.298 a	0.428 ± 0.235 a	0.518 ± 0.405 a	0.230 ± 0.104 a	0.850 ± 0.000 a	0.850 ± 0.000 a
BC3	0.195 ± 0.179 a	0.279 ± 0.334 a	0.359 ± 0.351 a	0.221 ± 0.070 a	0.836 ± 0.012 a	0.836 ± 0.012 a

CONCLUSÃO

As combinações selecionadas de ambos corretivos orgânicos geraram resultados promissores pois permitiram o desenvolvimento da planta no solo da escombreira. Face à ausência de diferenças significativas entre os diferentes solos manipulados para a maioria dos parâmetros avaliados, destaca-se BC1, uma vez que corresponde a um investimento mais reduzido (menor percentagem de biochar e composto).

Em trabalhos futuros é necessário investigar se resultados idênticos poderiam ser conseguidos através de combinações de biochar e composto em quantidades inferiores, pois tal significaria um investimento mais reduzido. Será igualmente importante avaliar as concentrações dos elementos vestigiais na planta e nos solos manipulados (biodisponibilidade/adsorção), a fim de consolidar os resultados e aferir o potencial da planta para fitoestabilizar.

BIBLIOGRAFIA

- Ali, H., Khan, E., & Anwar, M. (2013). Chemosphere Phytoremediation of heavy metals — Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Doumas, P. (2016). Transcriptome Changes in *Hirschfeldia incana* in Response to Lead Exposure, 6(January), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01231>
- Ingh, M. G. H. S. P. S. (2005). A REVIEW ON PHYTOREMEDIATION OF HEAVY METALS AND UTILIZATION OF ITS BYPRODUCTS, 3(1), 1–18.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Soil Biology & Biochemistry Biochar effects on soil biota e A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- Mondlane, N., Pita, F., & Pratas, J. (2014). Flutuação de sulfuretos do estéril da antiga mina da Escádia Grande (Góis) Flotation of sulphides of the heap tailings of the old mine of Escádia Grande (Góis), 807–811.
- Novo, L. A. B., & González, L. (2014). Germination and Early Growth of Brassica juncea in Copper Mine Tailings Amended with Technosol and Compost, 2014.
- Sims, D. A., & Gamon, J. A. (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species , leaf structures and developmental stages, 81, 337–354.
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants Protective role of exogenous polyamines, 151, 59–66.

Mineração e produção antiga de estanho no noroeste da Península Ibérica: dados preliminares do sítio de As Muradellas (Baltar, Espanha)

F. Dias¹, A. Lima¹, E. Meunier², E. Figueiredo², J. Fonte³

¹ Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geociências e Ordenamento do Território. Instituto de Ciências da Terra (ICT, Polo Porto). Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007 PORTO, PORTUGAL

² Centro de Investigação de Materiais, Instituto de Nanoestruturas, Nanomodelação e Nanofabricação (CENIMAT/i3N), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal

³ Department of Archaeology, University of Exeter, Exeter, UK; Instituto de Ciencias del Patrimonio (Incipit), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Santiago de Compostela, Espanha.

Resumo:

No sítio de *As Muradellas*, Espanha, encontrou-se uma escória composta essencialmente por estanho (Sn) e tungsténio (W) numa possível plataforma de processamento metalúrgico que, juntamente com os teores de Sn analisados em sedimentos colhidos *in situ*, sugere, embora sem absoluta certeza, que este local terá sido minerado para o estanho na antiguidade.

Atualmente sabe-se muito pouco sobre o impacto que a cassiterite (SnO₂) ibérica teve na produção de estanho no ocidente europeu durante o período pré-industrial. Neste estudo, pretende-se apresentar um pouco do trabalho preliminar em curso no âmbito do projeto IberianTin, cujo objetivo é aumentar esse conhecimento através do estudo de antigas minas de estanho na Península Ibérica.

Palavras-chave: cassiterite, minas, arqueologia, escórias

Abstract

A slag has been found in *As Muradellas*, in Spain, from what could have been a platform of metallurgical processing consisting essentially of tin (Sn) and tungsten (W), which together with the Sn contents of sediments collected *in situ*, allows us to assume, with more certainty, that this site has been mined for tin.

Currently, the impact of Iberian cassiterite (SnO₂) on the tin production of Western Europe during ancient times is still poorly understood. In this study, which is in the scope of the Iberian Tin project, we intend to increase this knowledge through the study of old tin mines in the Iberian Peninsula.

Key-words: tin, NW Iberia, ancient, mines, slags

INTRODUÇÃO

O estanho (Sn) foi um dos primeiros metais a ser usado para ligar ao cobre de forma intencional, para o fabrico de bronze binário (Cu-Sn). O uso do bronze generalizou-se durante o segundo milénio a.C. na Europa Ocidental e uma das razões do seu sucesso poderá estar relacionada com a sua capacidade para criar uma liga de maior dureza do que o cobre. Este período ficou conhecido na História como a Idade do Bronze. No entanto, apesar de hoje em dia se encontrarem muitos objetos de bronze antigos e evidências da mineração e redução de cobre, é muito raro encontrar restos de produção de Sn, nomeadamente escórias de redução de cassiterite, cuja presença seria uma evidência dos locais onde a cassiterite poderia ter sido minerada. Sabe-se que a cassiterite (SnO₂), principal minério de Sn, foi explorado na Europa Ocidental, como por exemplo no SW britânico, na França ocidental e no NW da Península Ibérica, presume-se que desde tempos antigos

(Penhallurick, 1986). No entanto, as evidências materiais desta mineração são escassas.

O principal objetivo do projeto IberianTin centra-se no estudo de vestígios antigos de mineração e metalurgia de estanho na Península Ibérica segundo uma perspetiva interdisciplinar, com o fim de conhecer o impacto que o estanho ibérico teve na produção de estanho na Europa Ocidental na antiguidade. A Península Ibérica contém uma grande quantidade de jazigos de Sn e W (tungsténio/volfrâmio) na “Província Metalogenética Estanho-Tungstifera Ibérica” e portanto teria, à partida, potencial para ser um grande fornecedor de estanho na Europa Ocidental (Neiva, 1944).

No projecto IberianTin pretende-se estudar alguns casos/sítios de estudo no Noroeste Peninsular através da análise de bibliografia e documentação histórica sobre minas de estanho e referências a explorações antigas, de modo a localizar locais onde o estanho tenha sido explorado na antiguidade e colher amostras de cassiterite de diferentes minas de estanho para analisar os seus elementos traço (ex: Nb, Ta, Ti, W e Fe) e tentar definir diferentes assinaturas geoquímicas (Bowles et al., 2011). Estas assinaturas, juntamente com a geologia local, poderão permitir a classificação de diferentes zonas ricas em Sn e a associação de antigas escórias de estanho a zonas específicas do Noroeste Peninsular.

A pesquisa inicial permitiu-nos selecionar os seguintes sítios de estudo: 1) Mina da Folgadoura (Viana do Castelo, Portugal); 2) Baltar (Galiza); 3) Minas de Ervedosa (Trás-os-Montes, Portugal); 4) Vale de Mouros (Beira Alta, Portugal); 5) Centum Cellas (Beira Baixa, Portugal) e 6) Castro de Baldio (Alto Alentejo, Portugal) (Fig. 1). Neste trabalho iremos destacar apenas e de forma preliminar a zona de Baltar e, especialmente, a mina de *As Muradellas*.

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

Na Península Ibérica a cassiterite encontra-se localizada essencialmente nas Zonas Centro Ibérica (ZCI) e na Zona Galiza Trás-os-Montes (ZGTM), associada a estruturas e a granitos variscos localizados no noroeste peninsular, numa área conhecida como “Província Metalogenética Estanho-Tungstifera Ibérica” (Fig. 1) (Neiva, 1944).

Os três primeiros locais selecionados para estudo (Baltar, Mina da Folgadoura e Minas de Ervedosa)

localizam-se na ZGTM; dois locais localizam-se na ZCI (Vale de Mouros e Centum Cellas); e o último

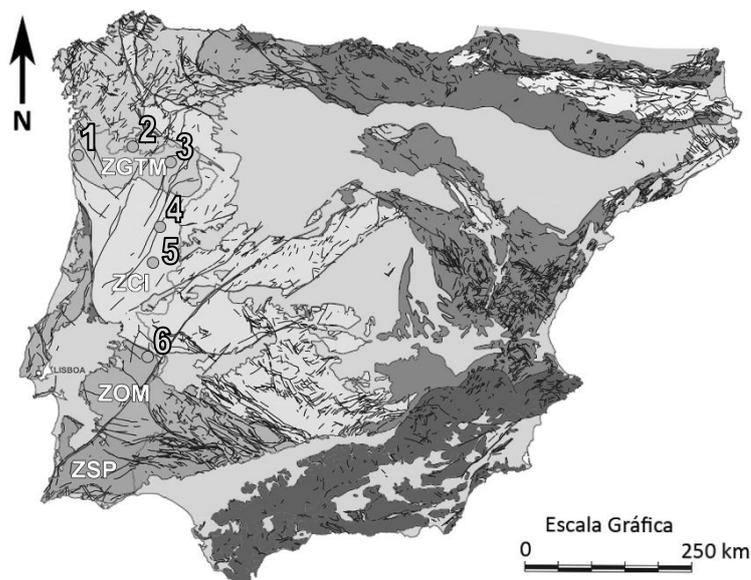


Figura 1 – Localização das áreas estudo nas zonas geotectónicas da Península Ibérica: ZGTM – Zona Galiza Trás-os-Montes, ZCI – Zona Centro Ibérica, ZOM – Zona Ossa Morena e ZSP – Zona Sul Portuguesa. Áreas de estudo: 1) Mina da Folgadoura; 2) Baltar; 3) Minas de Ervedosa; 4) Vale de Mouros; 5) Centum Cellas; 6) Castro de Baldio

local (Castro de Baldio) fica no limite da ZCI com a Zona Ossa Morena (ZOM).

A estruturação da ZGTM, da ZCI e da ZOM deve-se à Orogenia Varisca (entre o Devónico e o Carbonífero), que formou as cadeias montanhosas Variscas numa sucessão de três fases de deformação (D1, D2 e D3). A colisão continental provocou um espessamento crustal durante as fases D1 e D2, permitindo a génese de granitos variscos sintectónicos (sin-D3) que se instalaram essencialmente no noroeste peninsular. Importantes recursos geológicos, tais como Sn, W (volfrâmio), Au (ouro) e Li (lítio), ocupam frequentemente sistemas de fraturas conjugadas na ZGTM e na ZCI, com orientações NNE-SSW e NNW-SSE, formadas, numa fase de deformação dúctil-frágil e frágil, no período tardi- a pós-D3 da Orogenia Varisca (Sant’ovaia et al., 2011).

A Mina de *As Muradellas*¹, localiza-se na Zona Galiza Trás-os-Montes (ZGTM), dentro da folha 1:50 000 (Baltar) do *Mapa Geológico de España*, num granito de duas micas, com grão grosseiro a médio ($C_{2-3}^b Y^2$) (Fernández Pompa et al., 1974). Este lugar corresponde a um antigo aluvião, onde se podem observar trincheiras separadas por amontados de blocos rolados de estéreis (compostos essencialmente por granito e algum quartzo), com dimensões geralmente entre os 20-30cm. Estas trincheiras são características de vestígios de mineração com força hidráulica conhecidos desde a época romana (Sánchez-Palencia Ramos et al., 2009).

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO SÍTIO DE AS MURADELLAS (BALTAR, GALIZA)

Recolheram-se sedimentos de granulometria fina nas zonas com menos concentrações de blocos. Estes foram lavados usando um peneiro em forma de rampa que tem a propriedade de conduzir água através de si, de modo a separar os sedimentos mais densos dos menos densos. Os sedimentos mais densos foram depois separados de novo usando bateias, para melhorar o processo de separação necessário para concentrar a cassiterite, seguindo um processo tradicional que poderia ter sido usado na antiguidade.

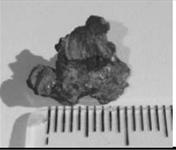
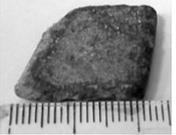
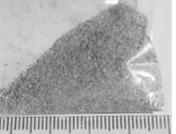
Durante o processo de separação encontrou-se uma escória de estanho proveniente de uma possível plataforma de processamento metalúrgico que foi posteriormente analisada com um equipamento de fluorescência de raios X portátil Bruker S1 Titan, com ânodo de ródio, uma potência máxima de 4W, um potencial de cátodo na ordem de 15-50kV e uma intensidade de corrente na ordem de 5-100 μ A. Foram também analisados os concentrados de sedimentos mais densos anteriormente lavados (Tab. 1). As análises indicaram que a escória é composta por Sn e W como elementos maioritários, o que indica que esta será uma escória de Sn proveniente da redução de minérios para a obtenção de estanho metálico. A análise dos sedimentos mais densos revelou Sn em concentrações de cerca de 1% (análise qualitativa), o que sugere a presença de cassiterite, aumentando a probabilidade deste local ter sido uma mina de estanho. Durante a lavagem dos sedimentos também se encontrou um pedaço de cerâmica antiga que, ainda que não seja evidente

¹ http://www.altalimia.org/ficha_inmoble.php?id=010200

a sua atribuição cronológica a um concreto período, poderá evidenciar este local como de interesse arqueológico.

Estes dados são mais um passo rumo ao objetivo final do projeto IberianTin de aumentar o conhecimento sobre antigas minas de Sn na Ibéria, sendo que se localizou uma muito provável, com a mais-valia de ter sido encontrada uma escória rica neste metal. As amostras com cassiterite recolhidas permitiram começar uma análise química cujo objetivo é tentar definir uma assinatura que será depois comparada com a escória do mesmo local. Isto poderá ajudar na correlação de outras escórias de estanho com outras zonas do Noroeste Peninsular.

Tabela 1 – Análises químicas preliminares, apenas qualitativas, de fluorescência raio-X

Amostra	Elem	Concentração (% em peso)	Erro (%)	Fotos
Escória	Sn	18,2	0,5	
	W	17,69	1,2	
	Fe	2,71	1,2	
	Ti	0,78	4,9	
	Nb	0,46	2,3	
Cerâmica	Fe	3,61%		
Sedimentos	Sn	1,12	0,7	
	Fe	0,85	1,7	
	Ti	0,26	3,4	
	Nb	0,18	3,3	
	W	n.d.	n.d.	

*os erros não devem ultrapassar a margem dos 15-20%

AGRADECIMENTOS

Projecto Iberian Tin (PTDC/HAR-ARQ/32290/2017), suportado pelos orçamentos do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização e do Programa Operacional Regional de Lisboa na sua componente FEDER, e da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, na sua componente de Orçamento de Estado; apoio do ICT através do projeto COMPETE 2020 (UID/GEO/04683/2013) de referência POCI-01-0145-FEDER-007690; apoio do CENIMAT/i3N através do projeto UID/CTM/50025/2019, financiado pelo fundo FEDER através do COMPETE 2020 e pela FCT na sua componente de Orçamento de Estado.

BIBLIOGRAFIA

- Bowles, J. F. W., Howie, R. A., Vaughan, D. H., e Zussman, J. S. (2011). Non-Silicates: Oxides, Hydroxides and Sulphides. In Deer, et al. (Eds.), *Rock-Forming Minerals* (Vol. 5A, pp. 22-46). London: The Geological Society.
- Fernández Pompa, F., Boquera Fillol, J., Sánchez Cela, V., Muñoz, M., e Ferragne, A. (1974). Mapa Geológico De España E. 1:50.000 - Baltar. *IGME - Instituto Geológico y Minero De España, Segunda serie - Primera edición*, 32.
- Neiva, C. (1944). *Jazigos Portugueses de Cassiterite e de Wolframite* (Vol. XXV). Lisboa: Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos.
- Penhallurick, R. D. (1986). *Tin in Antiquity: Its Mining and Trade Throughout the Ancient World with Particular Reference to Cornwall*. London: Institute of Metals.
- Sánchez-Palencia Ramos, F. J., Sastre, I., Currás Refojos, B. X., e Romero Perona, D. (2009). Minería romana en la cuenca meridional de los ríos Sil y Miño *Revista Aquae Flaviae*, 41, 285-302.
- Sant'ovaia, H., Ribeiro, M. A., Martins, H. C. B., e Noronha, F. (2011). Notícia explicativa da Carta geológica de Portugal na escala 1:50000 - Folha 6D – Vila Pouca de Aguiar. In. Lisboa: LNEG - National Laboratory of Energy and Geology.

A Geoética no Ensino Superior: propostas de recursos educativos

Geoethics in Higher Education: proposal of educational resources

A. Cardoso¹, C. Vasconcelos^{1*}

¹ Unidade de Ensino das Ciências, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto; Instituto de Ciências da Terra (Pólo do Porto), Rua Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal

* cvascon@fc.up.pt

Resumo: Os desafios globais que a sociedade enfrenta atual e futuramente são inegáveis. Estes serão apenas superáveis através de respostas que considerem, concomitantemente, a sociedade, o ambiente e a economia. As soluções para os referidos desafios necessitam de grande reflexão por parte de todos os cidadãos, sendo essencial uma abordagem ética como base para todas as tomadas de decisão. Neste sentido, a Geoética traz às Geociências um corpo de conhecimentos, práticas e valores que deverão guiar a conduta no que concerne às interações entre o ser humano e o planeta Terra. Procurando integrar esta nova dimensão no currículo do ensino superior, o projeto de parceria internacional GOAL têm vindo a produzir diversos materiais educacionais. Na presente comunicação são apresentados dois recursos educacionais do projeto, que visam contribuir para o estabelecimento de uma perspetiva Geoética no que concerne à exploração de georecursos e valorização do património geológico.

Palavras-chave: Geoética, ensino superior, recursos educativos.

Abstract: The global challenges society faces today and in the future are undeniable. These will only be surmountable through responses that simultaneously consider society, environment, and economy. The solutions to these challenges need to be reflected upon by all citizens and an ethical approach is essential as a basis for all decision-making. In this sense, geoethics brings to Geosciences a body of knowledge, practices and values that should guide the conduct regarding the interactions between human beings and planet Earth. Seeking to integrate this new dimension into the higher education curriculum, the GOAL international partnership project has been producing various educational materials. This communication presents two educational resources of the project, which aim to contribute to the establishment of a geoethical perspective regarding the exploration of georesources and valorization of geoheritage.

Key-words: Geoethics, higher education, educational resources.

INTRODUÇÃO

A Geoética, recente campo de conhecimento em desenvolvimento integra, além das Geociências, a Filosofia, Sociologia e Economia, centrando-se na investigação e análise reflexiva sobre os valores que regem a interação do ser humano com a geosfera (PEPPOLONI & DI CAPUA, 2015). Sendo os geocientistas os principais atores deste desenvolvimento é, também, sua responsabilidade colocar os seus conhecimentos e as suas competências ao serviço do bem público (PEPPOLONI, BILHAM & DI CAPUA, 2019). Pelo exposto, facilmente se entende que a Geoética possibilita aos diversos intervenientes do processo de desenvolvimento e aplicação das Geociências, bem como ao cidadão comum, uma orientação na hora de tomada de decisão (PEPPOLONI, BILHAM & DI CAPUA, 2019).

Esta conduta responsável é essencial para encontrar soluções para os desafios globais, guiando os intervenientes com base num corpo de conhecimentos interdisciplinares e num conjunto de valores éticos, sociais e culturais. Estes últimos referem-se a uma série de valores estabelecidos na literatura da especialidade e que deverão orientar sempre as tomadas de decisão (BOBROWSKY ET AL., 2017; PEPPOLONI & DI CAPUA, 2016). Os valores éticos, mais ligados àqueles que praticam Geociências, são, sobretudo, relativos à honestidade, integridade, responsabilidade, cooperação, respeito, inclusão, profissionalismo, transparência, justiça e cortesia. Estes valores são muito importantes para uma correta prática profissional e fundamentais para uma boa relação entre geocientistas e entre estes e a sociedade. Por seu lado, os valores sociais da Geoética – sustentabilidade, prevenção e geodução – prendem-se com o desenvolvimento de uma sociedade com literacia científica no que diz respeito, essencialmente, às Geociências. A geodiversidade, a paisagem e o património geológico corporizam os valores culturais associados à Geoética. A apreciação do património geológico pela sociedade devido ao seu valor cultural, e até mesmo estético, fortalece a relação do ser humano com a geosfera. Assim, compreende-se que a importância do valor cultural do património geológico seja facilmente aproveitada como recurso com valores sociais, económicos, culturais, científicos e educacionais associados, pelo que deverá ser conservado de maneira sustentável pela sociedade (BOBROWSKY ET AL., 2017; PEPPOLONI & DI CAPUA, 2016).

O conhecimento e compreensão das Geociências pela sociedade são necessários para uma maior consciencialização da relação íntima que todos os seres humanos estabelecem com a geosfera (MOGK, ET AL., 2018; PEPPOLONI & DI CAPUA, 2017), pois esta, muitas vezes, não é diretamente perceptível. Uma sociedade ciente de que depende diariamente do planeta que habita será mais acessível a tomar atitudes Geoéticas para melhorar/balizar a sua relação com o mesmo. Assim, a Geoética necessita de conquistar o seu espaço nos diversos tipos de ensino, acessíveis aos cidadãos em idade escolar, mas também a toda a restante sociedade (BOBROWSKY ET AL., 2017).

Com a pretensão de contribuir para a literacia científica dos cidadãos, defende-se a necessidade de enquadrar a Geoética no currículo do ensino superior (ALMEIDA & VASCONCELOS, 2015; BOBROWSKY ET AL., 2018). É desta forma que surge o projeto Erasmus +, *Geoethics Outcomes and Awareness Learning* (GOAL), resultado de uma parceria internacional de seis países, cuja principal finalidade é o desenvolvimento de um programa curricular centrado na Geoética e respetivos recursos educativos.

DESENVOLVIMENTO

No presente trabalho são apresentados dois recursos educacionais produzidos no âmbito do projeto GOAL. Partindo de dois desafios atuais – a exploração de georecursos e a conservação do património geológico (especialmente no que diz respeito aos recursos hídricos) – os estudantes são conduzidos a explorar estes recursos através da metodologia de ensino baseada em casos. Em cada recurso a

temática é exposta recorrendo-se a um caso real, ao qual estão associadas diversas questões Geoéticas. Estas últimas, de nível cognitivo sequencialmente crescente, são debatidas pelos estudantes possibilitando o desenvolvimento do pensamento crítico, da capacidade de argumentação e reflexão, assim como a formação cuidada de opiniões sobre o(s) assunto(s) em causa, competências essenciais a cidadãos do futuro (WEF, 2016). Os estudantes devem trabalhar em pequenos grupos, numa aprendizagem cooperativa que possibilite uma maior discussão e partilha de saberes.

O recurso educacional *“Earth system nexus human interaction: a geoethical perspective”* (Calheiros, Orion & Vasconcelos, 2019) tem como propósito a reflexão acerca dos valores que devem pautar a interação do ser humano com o sistema Terra no que diz respeito à exploração de georecursos e à valorização do património geológico (Disponível em <https://tinyurl.com/y3cqnmey>). Partindo-se de um caso em que é retratada a realidade atual de Paço de Calheiros (município de Ponte de Lima), uma propriedade rural associada a uma quinta do século XVII, é apresentada uma abordagem holística do sistema Terra na qual são exploradas as várias interações entre os subsistemas terrestres, com especial destaque para a hidrosfera. No exemplo apresentado é explanada a gestão da água realizada na propriedade, com vista ao seu reaproveitamento de águas. A reflexão acerca da valorização e preservação do património geológico é estimulada através de duas questões – na primeira os estudantes deverão avaliar o impacto da construção de uma estrada de acesso à casa principal da propriedade na preservação do património geológico, ao passo que na segunda questão deverão ser antecipados riscos e pensadas medidas de preservação do património geológico presente. Os objetivos desta atividade englobam a exploração de valores geoéticos como, por exemplo, os valores sociais de sustentabilidade e geoeducação, os valores éticos de integridade, responsabilidade, respeito, e transparência, bem como o valor cultural de património geológico.

A temática da Geoética na exploração dos georecursos pode ser versada através do recurso educacional *“Can we dare say modern society does not need mineral raw materials?”* (Vasconcelos, Ribeiro & Lima, 2019). O caso apresentado (<https://tinyurl.com/y4ncdcra>), à semelhança do anterior, pretende estimular a reflexão através de um dilema geoético. Neste caso a problemática centra-se na prospeção e possível exploração de depósitos de lítio com base em espodumena na região de Covas do Barroso, no concelho de Boticas (Portugal). Este dilema coloca frente a frente a dependência da sociedade relativamente à exploração de recursos minerais e a necessidade de avaliar o impacto ambiental, social e económico de novas explorações mineiras, garantindo que os direitos da população local são respeitados, ao mesmo tempo que o interesse estratégico, político e económico que esta possível exploração poderá ter para aquela região e para o próprio país. Os estudantes deparam-se com uma série de questões relativas à importância da transparência na comunicação entre os geocientistas, empresários, governo e a população. Os impactos negativos da

exploração são antecipados pelos estudantes, tendo em conta as dimensões ambientais e sociais, e são pensadas medidas para minimizar e mitigar estes últimos. Colocada a questão inicial – poderemos dizer que a sociedade moderna não necessita de exploração mineira? – sobre a qual os estudantes devem refletir e debater os seus pontos de vista recorrendo a uma perspetiva Geoética, este recurso pretende-se atingir objetivos como, por exemplo, a defesa dos valores sociais e culturais associados à exploração mineira, a responsabilidade de preservação do local por parte dos geocientistas e a necessidade de uma comunicação transparente entre os vários atores comumente envolvidos na exploração mineira.

CONCLUSÃO

O projeto GOAL, pretende contribuir para o estabelecimento e desenvolvimento da Geoética, como uma área disciplinar de forte interação social, económica, cultural e ambiental estritamente ligada aos objetivos da Agenda 2030 das Nações Unidas. A urgente necessidade de formar profissionais com estes valores justifica a relevância do desenvolvimento de um programa disciplinar para o ensino superior e a construção de recursos educativos disponíveis online em inglês, possibilitando o seu uso por toda a comunidade científica.

Bibliografia

- ALMEIDA, A., & VASCONCELOS, C. (2015) – Geoethics: master’s students knowledge and perception of its importance. *Research in Science Education*, vol.45: 889-906. doi:10.1007/s11165-014-9449-3
- BOBROWSKY, P., CRONIN, V. S., DI CAPUA, G., KIEFFER, S. W. & PEPPOLONI, S. (2018) – The emerging field of Geoethics. Em L. C. Gundersen (Ed.), *Scientific Integrity and Ethics in the Geosciences* (pp. 175-212). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- CALHEIROS, C., ORION, N. & VASCONCELOS, C. (2019) – GOAL Educational Resource - Earth system nexus human interaction: a Geoethical perspective. Disponível em <https://tinyurl.com/y3cqnmey>
- MOGK, D. W. (2018) – Teaching GeoEthics Across the Geoscience Curriculum. Disponível em <https://serc.carleton.edu/geoethics/>
- PEPPOLONI, S., BILHAM, N., & DI CAPUA, G. (2019) – Contemporary Geoethics Within the Geosciences. In *Exploring Geoethics* (pp.25-70). Palgrave Pivot, Cham.
- PEPPOLONI, S., & DI CAPUA, G. (2015) – The meaning of geoethics. In M. Wyss & S. Peppoloni (Eds.), *Geoethics: Ethical challenges and case studies in earth sciences* (pp.3–14). Amsterdam: Elsevier.
- PEPPOLONI, S., & DI CAPUA, G. (2016) – Geoethics: Ethical, social, and cultural values in geosciences research, practice, and education. Em G.R. Wessel & J.K. Greenberg (Eds.), *Geoscience for the Public Good and Global Development: Toward a Sustainable Future* (pp. 17-23). Boulder: Geological Society of America.
- UNITED NATIONS (2015) – Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations. Disponível em <https://tinyurl.com/y3me8n9m>
- VASCONCELOS, C., RIBEIRO, T., & LIMA, A. (2019) – GOAL Educational Resource - Can we dare say modern society does not need mineral raw materials?. Disponível em <https://tinyurl.com/y4ncdcra>
- WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). (2016) – New Vision for Education: Fostering Social and Emotional Learning through Technology. Genebra: World Economic Forum.

Agradecimentos

O presente trabalho foi desenvolvido: (i) com o apoio do Programa Erasmus + no âmbito do projeto GOAL, com a referência do projeto 2017-1-PTO1-KA203-035790.; (ii) insere-se no projeto de doutoramento financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia através da bolsa de doutoramento com a referência SFRH/BD/137852/2018 e cofinanciado pela União Europeia, (iii) e com o apoio através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, enquadrado no COMPETE 2020 (Programa Operacional da Competitividade e Internacionalização), através do projeto ICT (UID/GEO/04683/2013) com a referência POCI-01-0145-FEDER-007690 e dos fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Do ensino não-formal à ciência cidadã: um projeto de investigação no âmbito do ensino e da comunicação em Geociências

From non-formal education to citizen science: a research project in the field of Geosciences teaching and communication

T. Ribeiro^{1*}, R. Trindade² & C. Vasconcelos¹

¹ Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Unidade de Ensino das Ciências, Instituto de Ciências da Terra (Porto), Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007, Porto, Portugal

² Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação da Universidade do Porto, Centro de Investigação e Intervenção Educativas, Rua Alfredo Allen, 4200-135, Porto, Portugal

* tiago.ribeiro@fc.up.pt

Resumo: Para solucionarmos desafios sociais resultantes da ação antropogénica no planeta e na expectativa de promover a sustentabilidade da vida na Terra, torna-se imperativa uma abordagem Geoética do sistema Terra, articulada com a Educação em Geociências e a Ciência Cidadã. Esta abordagem poderá permitir que os cidadãos exerçam uma cidadania responsável e desenvolvam uma visão holística e interdisciplinar do sistema Terra. Assente neste referencial, desenvolveu-se um projeto de doutoramento apoiado na triangulação metodológica e com recurso a técnicas e instrumentos diversos. Pretende-se verificar se a participação de adolescentes e cidadãos seniores em atividades de ensino não-formal e de divulgação científica potencia a aprendizagem e a consciencialização destes sobre dilemas e valores geoéticos. Operacionalizar-se-á este estudo com, para e na sociedade, integrando participantes na investigação, contribuindo para a literacia científica da amostra de conveniência do estudo e auxiliando na compreensão pública do sistema terrestre e dos valores geoéticos subjacentes a alguns objetivos do desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Educação em Ciências; Ciência Cidadã; Geoética; Sistema Terra.

Abstract: To solve societal challenges resulting from anthropogenic action on the planet and in the expectation of promoting planetary sustainability, a geoethical approach to the Earth system, articulated with geoscience education and citizen science, is imperative. This approach could enable citizens to exercise responsible citizenship and develop a holistic and interdisciplinary view of the Earth system. Based on this framework, a doctoral project was developed, based on methodological triangulation and using various techniques and instruments. The aim is to verify if the participation of adolescents and senior citizens in non-formal education and scientific communication activities enhances their learning and awareness about geoethical dilemmas and values. This study will be operationalized with, for and in society, integrating research participants, contributing to the scientific literacy of the study's convenience sample and assisting in public understanding of the terrestrial system and geoethical values underlying some objectives of sustainable development.

Keywords: Citizen Science; Earth system; Geoethics; Science Education.

INTRODUÇÃO

Atualmente, estima-se que cerca de 7,7 mil milhões de seres humanos partilhem o planeta Terra. A humanidade depende deste para a obtenção de alimentos, água, recursos, materiais e serviços para a sua sobrevivência, segurança e comodidade (Sachs, 2015). Contudo, estas ações acarretam

impactes que se agravam diariamente, em especial desde a revolução industrial (Vasconcelos et al., 2018). Torna-se urgente a análise das interações do ser humano com o sistema Terra numa perspetiva Geoética. Esta área científica emergente e interdisciplinar permite responder, de forma completa, contextualizada e realista, aos problemas sociais, éticos, económicos e ambientais que enfrentamos (Bobrowsky et al., 2017; Peppoloni & Di Capua, 2016). A interdisciplinaridade da Geoética afigura-se fundamental neste processo de mediação entre o ser humano e a Terra, pois os dilemas que daí advêm não se coadunam com as fronteiras rígidas entre as diferentes áreas científicas e exigem uma estreita articulação entre estas (Almeida, & Vasconcelos, 2015; Peppoloni & Di Capua, 2016).

Para (re)conhecermos e solucionarmos os desafios que a sociedade contemporânea defronta, precisamos de compreender o funcionamento da Terra e a interdependência dos subsistemas que a compõem – geosfera, biosfera, atmosfera e hidrosfera (Batzri et al., 2015). Uma visão holística do sistema Terra viabiliza o desenvolvimento de uma compreensão profunda e sistémica, potenciando um melhor entendimento da extensão dos impactes humanos, nomeadamente no Antropocénico (Crutzen, 2016). Consciencializar os cidadãos para questões geoéticas e de sustentabilidade cruza, obrigatoriamente, com a Educação em Ciências e a ciência cidadã (Bonney et al., 2009; Vasconcelos et al., 2016).

Na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (UN, 2015), a Educação é considerada como um direito fundamental e apresenta-se no cerne de um trajeto que a sociedade tem de percorrer para a sobrevivência da humanidade e sustentabilidade da Terra (UNESCO, 2016). Em Portugal, como na maioria dos países ocidentais, existe um sistema de ensino (formal), responsável pela Educação gratuita e obrigatória dos seus cidadãos. Porém, é (re)conhecido que este mesmo sistema não é irrepreensível, apresentando diversas lacunas e assistindo-se a um aumento do abandono escolar nas classes mais jovens da população e, conseqüente, desinteresse pelas ciências (European Commission, 2015; Haetinger & Trindade, 2017; Trindade & Cosme, 2016). No relatório *Science Education for Responsible Citizenship* são referidas a Educação não-formal e a Educação informal como meios para suplementar e complementar o sistema de ensino formal. Estas poderão ser uma via célere para aproximar a ciência dos cidadãos e são modalidades de ensino passíveis de garantir uma Educação de qualidade, flexível e inclusiva ao longo da vida (Cardoso et al., 2018).

A consciencialização pública sobre os dilemas geoéticos e de sustentabilidade do sistema Terra pode ser desenvolvida através de atividades de Educação não-formal e de Divulgação científica direcionadas para cidadãos de grupos geracionais distintos, com exigências educacionais diferentes (Cardoso et al., 2018). Uma abordagem ao sistema Terra, alicerçada numa perspetiva Geoética, poderá dotar os cidadãos de conhecimentos, competências, comportamentos e valores essenciais para que estes participem de forma ativa e responsável na sociedade e, conseqüentemente, na

prática científica – denominado na literatura da especialidade como ciência cidadã (Bonney et al., 2009). Porém, este conceito humanístico de ciência é complexo e carece de um maior desenvolvimento e investimento em práticas, recursos e ferramentas, de forma a operacionalizá-lo integralmente com, para e na sociedade (Bonney et al., 2009).

DESENVOLVIMENTO

Nesta investigação partir-se-á do problema seguinte: verificar se atividades de ensino não-formal e de divulgação científica, no âmbito de uma perspetiva Geoética do sistema Terra, potenciam a aprendizagem e a consciencialização pública da Ciência em adolescentes e cidadãos seniores. As atividades referidas decorrerão em escolas públicas e em universidades seniores. Os objetivos principais desta investigação serão: i) desenvolver atividades de ensino não-formal com e dirigidas a adolescentes e cidadãos seniores; ii) elaborar atividades de consciencialização pública da Ciência com e dirigidas a adolescentes e cidadãos seniores; iii) implementar as atividades de ensino não-formal e de consciencialização pública da Ciência desenvolvidas ao longo do doutoramento; iv) avaliar o impacto da aplicação de atividades de ensino não-formal e de divulgação científica nos participantes deste estudo; v) promover a consciencialização para a ação dos adolescentes e cidadãos seniores, participantes no estudo, face a dilemas de natureza Geoética do sistema Terra.

Do ponto de vista metodológico, recorrer-se-á à combinação de métodos, quer quantitativos, quer qualitativos, recorrendo-se a inquéritos por questionários e entrevistas semiestruturadas, numa perspetiva de triangulação metodológica, vertente que apoiará a validade e pertinência do estudo. A fidelidade e validade dos instrumentos de investigação serão asseguradas. A amostra participante será obtida junto de escolas públicas e universidades seniores, com as quais a equipa de orientação e o doutorando têm trabalhado e estabelecido protocolos. Pretende-se alcançar um vasto número de respondentes (superior a 300).

Na administração dos instrumentos, quer no caso dos questionários, quer na realização de entrevistas semiestruturadas, serão cumpridas as normas éticas da investigação educacional (Burgess, 2005). As entrevistas serão realizadas quando os dados recolhidos necessitem de clarificação concetual, científica ou informativa. A análise de conteúdo, com o apoio do *software NVIVO*, será realizada para categorizar e analisar os dados. O *software IBM SPSS* será utilizado na análise dos questionários e permitirá a realização de procedimentos estatísticos.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um ensino de qualidade, que visa criar oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos, e a promoção da sustentabilidade da Terra serão elementos preponderantes e norteadores neste doutoramento, quer no desenvolvimento das atividades de ensino não-formal com e dirigidas a adolescentes e cidadãos seniores, quer na elaboração das

iniciativas de consciencialização pública da ciência com e dirigidas a adolescentes e cidadãos seniores. Perscruta-se, assim, que este projeto de doutoramento promova a consciencialização para a ação dos participantes no estudo face a dilemas de natureza geoética do sistema Terra.

Bibliografia

- ALMEIDA, A., & VASCONCELOS, C. (2015) – Geoethics: master's students knowledge and perception of its importance. *Research in Science Education*, vol.45: 889-906.
- BATZRI, O., ASSARAF, O. B. Z., COHEN, C. & ORION, N. (2015) – Understanding the Earth Systems: Expressions of Dynamic and Cyclic Thinking Among University Students. *Journal of Science Education and Technology*, vol.24: 761-775.
- BOBROWSKY, P., CRONIN, V. S., DI CAPUA, G., KIEFFER, S. W. & PEPPOLONI, S. (2018) – The emerging field of Geoethics. Em *Scientific Integrity and Ethics in the Geosciences* (pp.175-212). Nova Jersey: John Wiley & Sons.
- BONNEY, R., COOPER, C. B., DICKINSON, J., KELLING, S., PHILLIPS, T., ROSENBERG, K. V. & SHIRK, J. (2009) – Citizen science: a developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, vol.59: 977-984.
- BURGESS, R. G. (2005) – *The Ethics of Educational Research*. Londres: Routledge.
- CARDOSO, A., RIBEIRO, T., & VASCONCELOS, C. (2018) – What is Inside the Earth? Children's and Senior Citizens' Conceptions and the Need for a Lifelong Education. *Science & Education*, vol.27: 715-736.
- CRUTZEN, P. J. (2016) – Geology of mankind. Em *Paul Crutzen: A Pioneer on Atmospheric Chemistry and Climate Change in the Anthropocene* (pp. 211-215). Cham: Springer.
- EUROPEAN COMMISSION (2015). Science Education for Responsible Citizenship (EUR/26893/EN). Retirado de http://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_science_education/KI-NA-26-893-EN-N.pdf
- HAETINGER, M. G., & TRINDADE, R. (2017) – Educação, escola, criatividade e tecnologia: contributos para a conceitualização de um modelo pedagógico do século XXI. *Revista Intersaberes*, vol.12: 188-199.
- ORION, N. (2007) – A Holistic Approach for Science Education for All. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, vol.3: 99-106.
- PEPPOLONI, S., & DI CAPUA, G. (2016) – Geoethics: Ethical, social, and cultural values in geosciences research, practice, and education. Em *Geoscience for the Public Good and Global Development: Toward a Sustainable Future* (pp. 17-23). Colorado: Geological Society of America.
- SACHS, J. D. (2015) – *The age of sustainable development*. New York: Columbia University Press.
- TRINDADE, R. & COSME, A. (2016) – Instruir, aprender ou comunicar: Reflexão sobre os fundamentos das opções pedagógicas perspetivadas a partir do ato de ensinar. *Revista Diálogo Educacional*, vol.16:1031-1051.
- UNITED NATIONS, ONU (2015) – Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1). Retirado de http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION, UNESCO (2016) – *Education for people and planet: creating sustainable futures for all*. Paris: UNESCO Publishing.
- VASCONCELOS, C., RIBEIRO, T., VASCONCELOS, L. & FERRAZ, S. (2018) – Checking the scientific literacy of humanities and science students: They say minerals are everywhere – is that so? Em *ICERI2018 Proceedings* (pp.263-267).
- VASCONCELOS, C., TORRES, J., VASCONCELOS, L., & MOUTINHO, S. (2016) – Sustainable development and its connection to teaching Geoethics. *Episodes*, vol.39:509-517.

Agradecimentos

Este trabalho é cofinanciado pela União Europeia, através do projeto ICT (UID/GEO/04683/2013) com a referência POCI-01-0145-FEDER-007690 e por fundos nacionais através da FCT. Este trabalho é igualmente financiado pela FCT através da Bolsa de Doutoramento com referência SFRH/BD/143306/2019.

Variações de oxidação-redução nos ambientes deposicionais das unidades detríticas da Zona de Ossa Morena: implicações para a génese das mineralizações sulfuretadas?

Redox variations in the depositional settings of detrital units of the Ossa-Morena Zone: implications for sulphide mineralization genesis?

J. Roseiro^{1,2*}, N. Moreira^{1,2}, M. Maia^{1,2}, P. Nogueira^{1,2}, J. Ribeiro^{3,4}, A. Araújo^{1,2}, J. Pedro^{1,2}

¹ Departamento de Geociências da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, CLAV, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal

² Instituto das Ciências da Terra (ICT), Polo de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal

³ Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal

⁴ Instituto das Ciências da Terra (ICT), Polo do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto, Portugal

* ze.roseiro45@gmail.com

Resumo: O quimismo das formações detríticas de idade paleozóica da Zona de Ossa-Morena regista várias características indicadoras dos ambientes de oxidação-redução no qual foram depositadas e, conseqüentemente, as condições favoráveis à mobilização-concentração de metais de interesse económico. O trabalho aqui apresentado corrobora que as rochas representativas do Câmbrico-Ordovícico e do Devónico foram depositadas em ambientes oxidantes (a sub-óxicos), enquanto as rochas do Silúrico foram depositadas em ambientes redutores (possivelmente euxínicos), reunindo as condições para a retenção de metais na matéria orgânica e em sulfuretos. Estas características aparentam ter particular importância na génese dos filões cupríferos da faixa Sousel-Barrancos.

Palavras-chave: Ambientes redox; Mineralizações de Cu; Zona de Ossa-Morena.

Abstract: The chemical signatures of the Ossa-Morena Zone Palaeozoic detrital formations record several indicators of the redox conditions of their depositional environment and, therefore, the mobilization-accumulation of metals with economic interest. The study is here presented shows that representative samples of Cambrian-Ordovician and Devonian ages were deposited in oxidizing (to suboxic) conditions, whereas Silurian samples were deposited in reducing (possibly euxinic) environments, favoring metal incorporation in organic and sulphides of the detrital units. These features have significant relevance for the genesis of the Sousel-Barrancos Cu-lode system.

Key-words: Redox environments; Cu mineralizations; Ossa-Morena Zone.

INTRODUÇÃO

A análise integrada de indicadores geoquímicos tem sido utilizada para traçar as condições redox dos ambientes deposicionais de rochas (meta)sedimentares e o potencial metalífero associado a rochas ricas em matéria orgânica (e.g. Leventhal, 1993; Jones & Manning, 1994; Luz & Mateus, 2019), assim inferindo o grau de oxigenação/anóxia da interface sedimento – água durante processos diagenéticos. Estas variações redox nas diferentes formações sedimentares são presumivelmente controladas pela disponibilidade de O₂ e H₂S, representadas essencialmente pela presença de matéria orgânica e de sulfuretos (e.g. Jones & Manning, 1994), podendo ser avaliadas com base nas relações entre elementos traço como o Cu, V, Mo, Ni, Cr e U, que precipitam nas unidades clásticas

ou ficam retidos por redução das fases sulfatadas ou por quelação (Leventhal, 1993). Na Zona de Ossa-Morena (ZOM) ocorrem várias mineralizações cupríferas epigenéticas de origem incerta, com maior expressão na faixa Sousel-Barrancos (e.g. Mateus et al., 2013, e referências inclusas), cuja fonte de metais e mecanismos de mobilização-concentração do Cu têm sido alvo de discussão por vários autores (e.g. Mateus et al., 2013; Maia et al., 2019). Neste sentido, é aqui feita uma abordagem preliminar às rochas metassedimentares da ZOM, na qual se propõe o uso de indicadores geoquímicos para monitorizar os ambientes redox das diferentes unidades siliciclásticas (Câmbrico a Devónico) e averiguar se são susceptíveis, ou não, de constituir uma fonte primordial dos metais.

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A ZOM (Fig. 1) é uma zona tectono-estratigráfica do Maciço Ibérico, pertencente ao bordo norte do Gondwana, que inclui um conjunto de bacias sin-rift do Paleozóico inferior preenchidas por sedimentos resultantes do desmantelamento continental durante as fases precoces do Ciclo de Wilson Varisco (e.g. Ribeiro, 2007; Moreira et al., 2014; Dias et al., 2016). Estas unidades litoestratigráficas (Fig. 1C) consistem em sucessões de rochas siliciclásticas afetadas por metamorfismo regional de baixo-médio grau, e assentam discordantemente sob a Série Negra do Neoproterozóico (e.g. Piçarra, 2000; Araújo et al., 2013; Moreira et al., 2014, e referências inclusas).

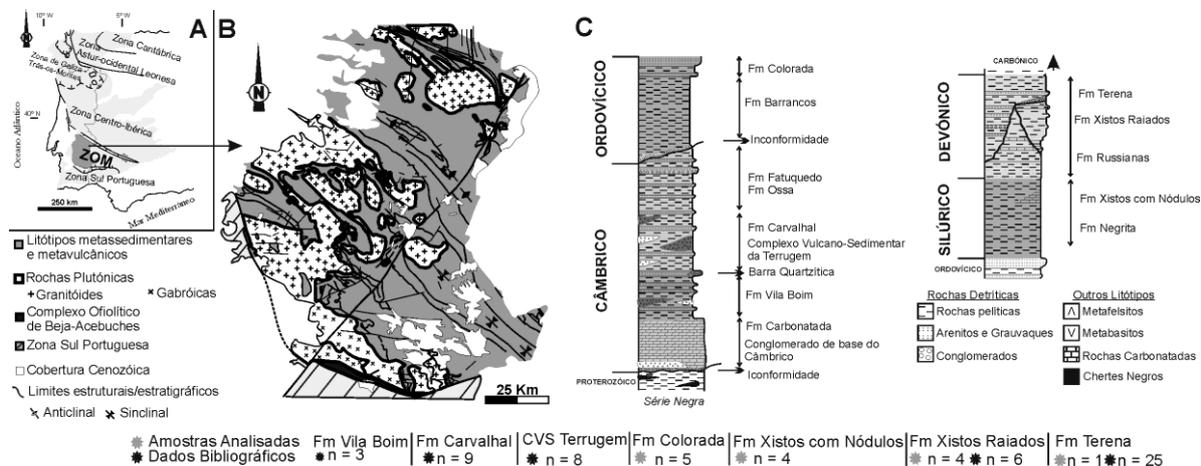


Figura 1 – (A) Localização da ZOM no Maciço Ibérico; (B) Mapa geológico simplificado da ZOM; e (C) Sequência litoestratigráfica simplificada, com indicação da amostragem (adaptado de Araújo et al., 2013).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram colhidas e analisadas para quantificação dos elementos traço (pelo laboratório certificado ALS, Sevilha) 11 amostras representativas de formações sedimentares com idades Ordovícico-Devónicas (amostragem na Fig. 1). Os dados obtidos foram reunidos com outras análises representativas de formações da ZOM (n = 51), recolhidas de Pereira et al. (2006), Borrego (2009) e Cruz (2013).

AMBIENTES DEPOSICIONAIS

Com base nas razões V/Cr, U/Th, Ni/Co, V/(V+Ni), (Cu+Mo)/Zn e U autigénico [U-(Th/3)] (Jones & Manning, 1994; Fig. 2), é possível inferir que as formações detríticas da ZOM se tenham depositado essencialmente em condições oxidantes (a sub-óxicas), com a exceção das amostras representativas da Fm. Xistos com Nódulos (Silúrico), distinguidas pelas afinidades típicas de ambientes redutores (Fig. 2). As amostras que apresentam razão V/Cr > 2 são representativas de condições deposicionais anóxicas enquanto que razões V/Cr ≈ 1 indicam condições próximas da interface O₂ – H₂S (Jones & Manning, 1994). Valores altos das razões Ni/Co e (Cu+Mo)/Zn das rochas Silúricas sugerem a presença de H₂S nas águas de fundo e consequente deposição de sulfuretos (pirite) diagenéticos em ambientes anóxicos, assim como condições para uma fraccionação preferencial de Cu sobre o Zn que se mantém em solução; adicionalmente, é comum a ocorrência de concentrações altas de Mo em bacias anóxicas (e.g. Jones & Manning, 1994). Os indicadores U/Th e U autigénico, baseiam-se no facto de o U ser extremamente móvel em ambientes oxidantes, precipitando em condições redutoras, ao contrário do Th que se mantém imóvel (Jones & Manning, 1994). Estas inferências são consistentes com estudos que evidenciam elevado conteúdo orgânico na unidade silúrica (carbono orgânico total = 3.96 – 12.57 %; Laranjeira et al., 2019) típicos de ambientes euxínicos.

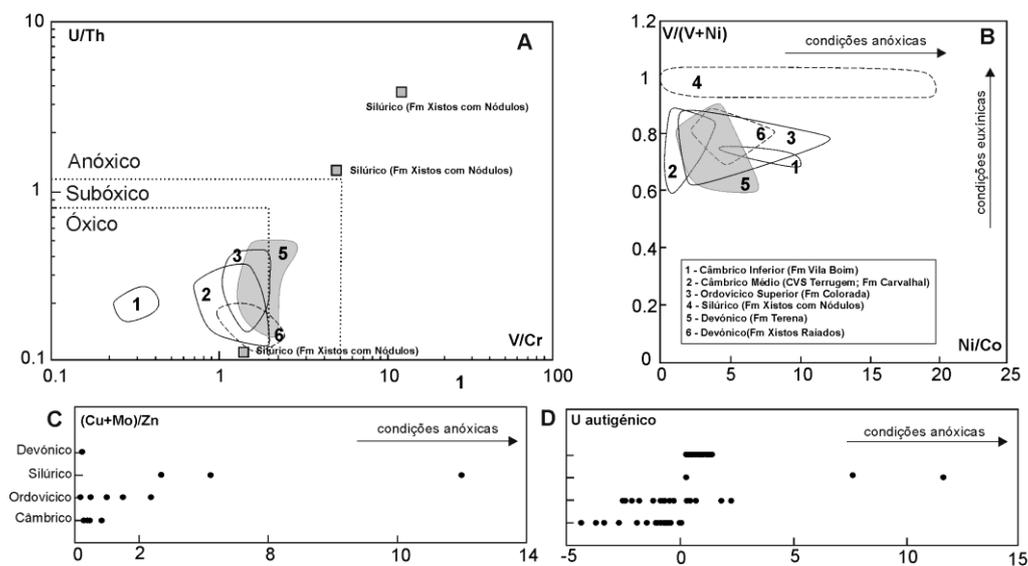


Figura 2 – Diagramas de parâmetros indicativos de ambientes paleoredox para as unidades litoestratigráficas da ZOM (Jones & Manning, 1994): (A) V/Cr vs U/Th, (B) Ni/Co vs V/(V+Ni), (C) (Cu+Mo)/Zn, e (D) U-(Th/3).

CONCLUSÃO E IMPLICAÇÕES PARA A GÊNESE DE DEPÓSITOS MINERAIS SULFURETADOS

Os ambientes deposicionais das unidades detríticas Câmbrico-Devónicas aparentam uma variação de ambiente oxidante no Câmbrico, sub-óxico no Ordovício, maioritariamente anóxico no Silúrico, voltando a sub-óxico no Devónico. Ao contrário do que sucede nas amostras do Câmbrico, Ordovício e Devónico, os valores elevados dos índices redox na Fm. dos Xistos com Nódulos sugerem um ambiente mais redutor durante as fases deposicionais do Silúrico (anóxico a euxínico, como sugerido por Piçarra, 2000), permitindo inferir a estabilidade de espécies de H₂S nas águas de fundo e precipitação de sulfuretos diagenéticos nos sedimentos ou associados a matéria orgânica (Leventhal,

1993; Jones & Manning, 1994). Os resultados obtidos são consistentes com a possibilidade de rochas silúricas serem mais propícias ao enriquecimento prévio em Cu relativamente às restantes unidades analisadas, o que poderá contribuir para a ocorrência preferencial de depósitos cupríferos na faixa Sousel-Barrancos, onde estas unidades têm maior expressão (admitindo que a génese dos depósitos de Cu incluiu mecanismos de lixiviação metalífera dos sedimentos; Mateus et al., 2013). Não obstante os argumentos aqui enunciados, estes indicadores por si só não constituem guias de prospecção para mineralizações sulfuretas de Cu (como realçado por Luz & Mateus, 2019), antes permitindo definir ambientes favoráveis à pré-concentração de Cu nas rochas encaixantes, como parece suceder no caso dos depósitos cupríferos da Faixa Sousel-Barrancos. Conclusões definitivas, contudo, requerem um estudo mais detalhado, com um número de amostras mais representativo das sucessões estratigráficas, assim como análises de elementos maiores ou passíveis de complexar e mobilizar os metais nestas condições.

Agradecimentos

Este trabalho é um contributo para o projeto "Modelos metalogénicos 3D da zona de Ossa Morena: valorização dos recursos minerais do Alentejo" (ALT20-03-0145-FEDER-000028), cofinanciado pelo ALENTEJO 2020.

Bibliografia

- ARAÚJO, A., PIÇARRA DE ALMEIDA, J., BORREGO, J. ET AL. (2013) – As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena. *In*: R. Dias et al. (Eds), *Geologia de Portugal*, Volume 1, Escolar Editora, 509-549.
- BORREGO, J. (2009) - Cartografia geológico-estrutural de um sector da zona de Ossa-Morena subsector de Estremoz-Barrancos-Ficalho e sua interpretação tectónica. Tese de Doutoramento, Univ. Évora, 479p.
- CRUZ, C. (2013) - Efeitos metamórficos e fluidos do Complexo Plutónico de Santa Eulália. Tese de Mestrado, Univ. Porto, 92p.
- DIAS, R., RIBEIRO, A., ROMÃO, J., ET AL. (2016), A review of the Arcuate Structures in the Iberian Variscides; Constraints and Genetic Models. *Tectonophysics*, 681C, 170-194.
- JONES, B., MANNING, D.A. (1994) – Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. *Chem. Geol.*, 111(1-4), 111-129.
- LARANJEIRA, V., RIBEIRO, J., MOREIRA, N., ET AL. (2019) – Caracterização geoquímica da matéria orgânica de xistos negros associados a mineralização de Cu na Zona Ossa Morena. XII Congresso Ibérico de Geoquímica | XX Semana da Geoquímica (Évora), 187-190.
- LEVENTHAL, J. (1993) – Metals in black shales. *In* Organic Geochemistry. Springer, Boston, MA, 581-592.
- LUZ, F., MATEUS, A. (2019) – Unravelling the geochemistry of dark-grey to black metapelites in the Iberian Pyrite Belt (Portugal): the relation to massive sulphide ores. 15th Biennial SGA Meeting. Glasgow, Scotland, Proceedings Volume 3, 1164-1167.
- MATEUS, A., MUNHÁ, J., INVERNO, C., ET AL. (2013) – Mineralizações no sector português da Zona de Ossa Morena. *In*: R. DIAS et al. (Eds), *Geologia de Portugal*, Volume 1, Escolar Editor, 577-620.
- MAIA, M., MOREIRA, N., MIRÃO, J., ET AL., (2019) – Fluid inclusions study of Cu-rich deposits from Sousel-Barrancos metallogenic belt (Ossa-Morena Zone, Portugal). *Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series (ECROFI 2019)*, vol. 10, 79.
- MOREIRA, N., ARAÚJO, A., PEDRO, J., DIAS, R. (2014) – Evolução Geodinâmica na Zona de Ossa-Morena no contexto do SW Ibérico durante o Ciclo Varisco. *Comum. Geol.*, 101(1), 275-278.
- PEREIRA, M.F., CHICHORRO, M., LINNEMANN, ET AL. (2006) - Inherited arc signature in Ediacaran and Early Cambrian basins of the Ossa-Morena zone (Iberian Massif, Portugal): paleogeographic link with European and North African Cadomian correlatives. *Precambrian Res.*, 144(3-4), 297-315
- PIÇARRA, J.M. (2000) – Estudo estratigráfico do sector de Estremoz-Barrancos, Zona de Ossa Morena, Portugal. Volume 1: Litoestratigrafia do intervalo Câmbrico médio? - Devónico inferior Tese de Doutoramento, Univ. Évora, 95p.

Caracterização geoquímica e isotópica de amostras do bordo sudeste do Complexo Plutónico de Santa Eulália (Zona de Ossa Morena)

Geochemical and isotopic characterization of samples from the southeastern border of the Santa Eulália Plutonic Complex (Ossa Morena Zone)

M.O. Silva^{1*}, M.R. Azevedo¹, J.C. Lopes², S. Ribeiro¹

¹ Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro; Unidade de Investigação GeoBioTec (UID/GEO/04035/2019)

² Departamento de Geociências da Universidade de Évora; Instituto de Ciências da Terra

* silvamofelia@gmail.com

Resumo: As rochas máficas (gabros) e félsicas (granitos) que ocorrem na periferia do Complexo Plutónico de Santa Eulália apresentam composições variando de metaluminosas a peraluminosas e parecem definir uma série calco-alkalina típica. Os dados de elementos maiores e traço e as assinaturas isotópicas Sr-Nd sugerem a existência de uma forte relação genética entre estas litologias e apontam para o envolvimento de processos de assimilação + cristalização fracionada (AFC) e/ou mistura magmática + cristalização fracionada (MFC) na sua petrogénese, em concordância com os modelos previamente propostos.

Palavras-chave: Complexo plutónico de Santa Eulália, processos AFC/MFC, isótopos de Sr-Nd.

Abstract: The mafic (gabbros) and felsic (granites) rocks from the border facies of the Santa Eulália Plutonic Complex have compositions ranging from metaluminous to slightly peraluminous and appear to define a typical calc-alkaline series. Major and trace element geochemistry and Sr-Nd isotopic data suggest a strong genetic relationship between these rock types and point to the involvement of assimilation plus fractional crystallization (AFC) or magma mixing plus fractional crystallization (MFC) processes in their petrogenesis, in agreement with models previously proposed.

Key-words: Santa Eulália plutonic complex, AFC / MFC processes, Sr-Nd isotopes.

O COMPLEXO PLUTÓNICO DE SANTA EULÁLIA (CPSE)

O Complexo Plutónico de Santa Eulália (CPSE) aflora na parte setentrional da Zona de Ossa Morena (ZOM). É intrusivo em formações do Neoproterozóico e do Paleozóico inferior dos domínios da Faixa Blastomilonítica e de Alter do Chão-Elvas e corta as estruturas variscas regionais, pelo que foi incluído no grupo dos granitóides variscos tardi-pós-cinemáticos (e.g. Lopes, 1989; Lopes *et al.*, 1998).

O maciço apresenta uma estrutura anelar, conferida pela presença de quatro fácies graníticas principais (G0, G1, G2 e G3) dispostas em anéis concêntricos (Fig. 1), cujas características petrográficas, mineralógicas e geoquímicas foram descritas em pormenor por Lopes (1989) e Lopes *et al.* (1998).

Segundo estes autores, a fácies mais periférica do CPSE corresponde a um granito róseo, de grão médio a grosseiro, não porfiróide (G0). Sucedem-lhe o granito G1, de cor cinzenta, grão médio e tendência porfiróide, o granito G2, que se diferencia da fácies G1 pela menor abundância de

megacristais de feldspato e, por fim, o granito G3, de grão fino, cor cinzenta, com sinais de intensa alteração (greisenização), ocupando o núcleo do complexo pluónico (Fig. 1). Em estreita associação espacial com a fácies G0 ocorrem vários corpos ígneos máficos / intermédios (M), com composições variando de gabros a dioritos, monzodioritos e granodioritos (Fig. 1). As idades U-Pb em zircão obtidas por Lopes *et al.* (2016) e Pereira *et al.* (2017) variam entre 301 ± 4 Ma a 297 ± 4 Ma (granito G0), 305 ± 6 Ma (granito G1) e 306 ± 2 Ma a 303 ± 3 Ma (corpos máficos).

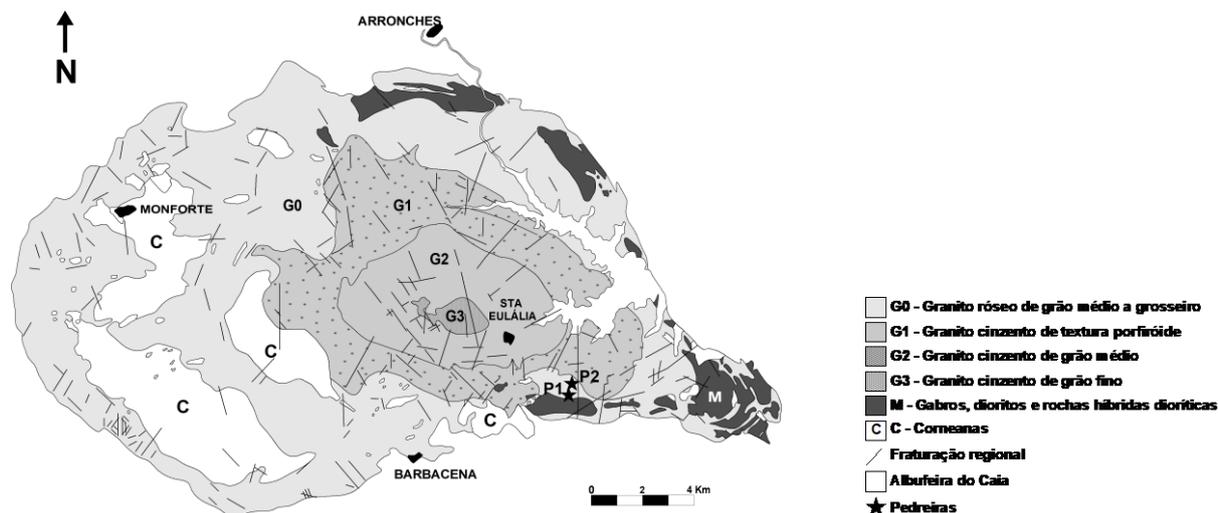


Figura 1: Mapa geológico simplificado do CPSE (adaptado de Lopes *et al.*, 1998).

A amostragem realizada para o presente trabalho foi feita em duas pedreiras (P1 e P2) localizadas no bordo SE do CPSE (Fig. 1), onde se colheram três amostras da fácies G0, uma amostra de um enclave microgranular máfico incluído neste granito e três amostras de rochas máficas / intermédias (M).

PETROGRAFIA

As amostras do granito G0 apresentam textura granular, hipidiomórfica, seriada, de grão médio a grosseiro e uma associação mineralógica primária composta por quartzo + feldspato potássico + plagioclase + biotite + apatite + zircão + opacos + esfena. O quartzo está presente nesta fácies, tanto sob a forma de grãos anédricos isolados, como em agregados de cristais, enquanto o feldspato potássico (microclina pertítica) ocorre em cristais anédricos a subédricos, com dimensões variadas, chegando a formar megacristais. A plagioclase constitui cristais incolores, geralmente subédricos, com a macla polissintética da albite, mostrando, por vezes, padrões de zonamento concêntrico, setorial ou complexo. Está intensamente sericitizada e/ou saussuritizada, particularmente nos núcleos. A biotite é o mineral máfico dominante no granito G0. Forma cristais subédricos a anédricos, com pleocroísmo forte em tons de castanho e está, em muitos casos, alterada para clorite. A apatite, o zircão, os opacos e a esfena são fases acessórias comuns neste granito.

O enclave microgranular máfico distingue-se do granito G0 hospedeiro pela sua granularidade fina, predomínio de plagioclase em relação ao feldspato alcalino e maior abundância de minerais máficos (anfíbola e biotite).

As amostras de corpos máficos (M) correspondem a rochas com textura granular, hipidiomórfica, de grão médio a fino, contendo plagioclase, anfíbola e biotite como constituintes essenciais. A plagioclase é subédrica, está geminada segundo a lei da albite e apresenta zonamento normal, oscilatório ou complexo. Já a anfíbola (horneblenda), de cor verde acastanhada, ocorre em cristais anédricos a subédricos, envolvendo, pontualmente, relíquias de clinopiroxena, enquanto a biotite está quase sempre associada à anfíbola, a partir da qual se parece ter formado.

MÉTODOS ANALÍTICOS

As análises químicas de rocha-total foram efetuadas no Actlabs (Ontário, Canadá) por ICP-AES (elementos maiores) e ICP-MS (elementos traço), usando o pacote analítico 4LITHORESEARCH. As análises isotópicas Sr-Nd foram realizadas por TIMS no LGI-UA.

GEOQUÍMICA DE ROCHA-TOTAL

No diagrama de R1-R2 de La Roche *et al.* (1980), as amostras estudadas distribuem-se entre os campos dos gabros (rochas máficas M), granodioritos (encrave microgranular) e monzogranitos (granito róseo G0), sendo de notar a presença de um hiato composicional de expressão significativa entre os três tipos de litologias (Fig. 2a).

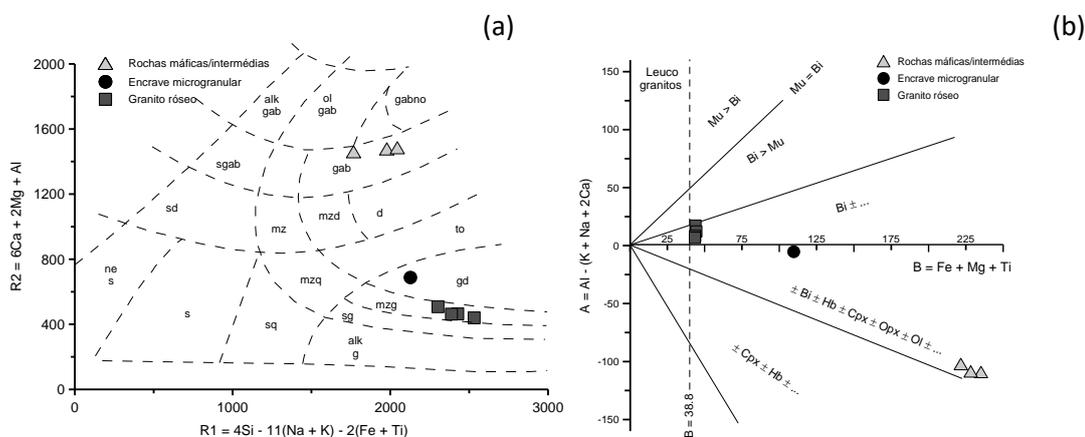


Figura 2: Projeção das amostras analisadas nos diagramas (a) R1-R2 de La Roche *et al.* (1988); (b) A-B de Debon & Le Fort, 1983.

Apesar da descontinuidade composicional, as rochas das diferentes fácies parecem definir um alinhamento de declive negativo no diagrama A-B (Fig. 2b), com as amostras do granito róseo a projetarem-se no domínio peraluminoso ($A > 0$) e as do enclave granodiorítico e dos gabros no campo das rochas metaluminosas ($A < 0$). Estes alinhamentos são característicos das associações plutónicas aluminó-caffmicas de afinidades calco-alcalinhas, formadas por interação entre magmas de origem mantélica e materiais / fundidos crustais (Debon & Le Fort, 1983), corroborando o modelo petrogenético proposto por Lopes *et al.* (1998) para as fácies periféricas do CPSE (G0 e M), segundo o qual a gênese e evolução destes magmas envolveu processos complexos de assimilação + cristalização fracionada (AFC) e/ou mistura magmática + cristalização fracionada (MFC).

No seu conjunto, as amostras analisadas descrevem tendências coerentes (retilíneas ou ligeiramente curvilíneas), marcadas por decréscimos de MgO, TiO₂, Fe₂O_{3T}, MnO, Al₂O₃ e CaO e um incremento em K₂O dos termos mais básicos para os mais ácidos nos diagramas de variação química, apontando para a participação de processos de cristalização fracionada na sua génese.

Verifica-se ainda que as razões LREE/HREE e a amplitude da anomalia negativa de Eu aumentam dos gabros para o granito G0 (Fig. 3 a-b), o que sugere que o fracionamento de anfíbola (com preferência para as MREE e HREE) e de plagioclase (que incorpora Eu) terão desempenhado um papel importante na passagem dos líquidos menos diferenciados para os mais evoluídos.

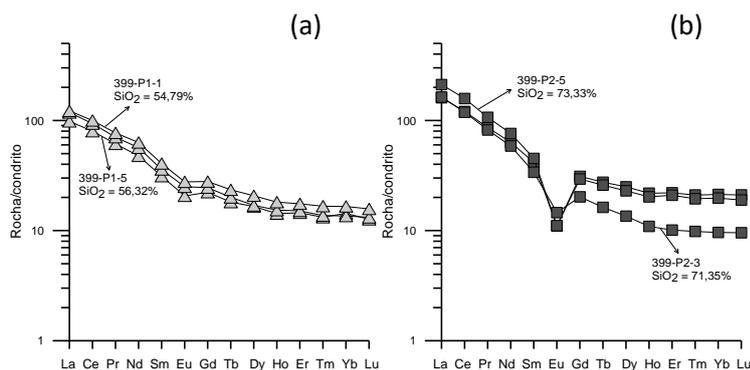


Figura 3: Perfis de REE normalizados para o condrito Evensen *et al.* (1978) (a) gabros; (b) granito G0.

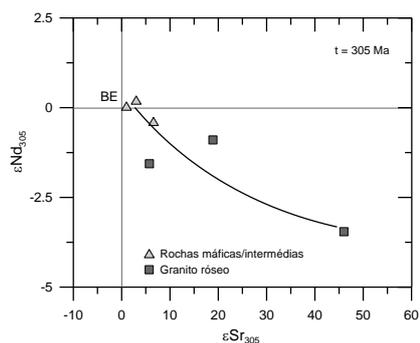


Figura 4: Diagrama ϵSr_{305} - ϵNd_{305}

GEOQUÍMICA ISOTÓPICA (Sr-Nd)

Para uma presumível idade de cristalização de 305 Ma, as amostras estudadas possuem valores de ϵSr_{305} variando entre +0,98 e +45,99 e de ϵNd_{305} entre +0,21 e -3,45, distribuindo-se ao longo duma curva hiperbólica no diagrama ϵSr_{305} - ϵNd_{305} (Fig. 4). A distribuição observada é compatível com uma origem por interação entre magmas gabróicos mantélicos e líquidos félsicos crustais o que, em combinação com as evidências de cristalização fracionada, apoia o modelo AFC / MFC proposto.

Bibliografia

- Debon, F., Le Fort, P. (1983). A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci.* 73: 135-149.
- La Roche, H., Leterrier, J. Grandclaude, P., Marchal, M. (1980). A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analysis. Its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.* 29: 183-210.
- Lopes, J.C. (1989). Geoquímica de Granitóides Hercínicos na Zona de Ossa Morena: O Maciço de Santa Eulália. Dissertação PAPCC, Univ. Évora, Portugal, 138 pp.
- Lopes, J.C., Munhá, J.M., Wu, C.T., Oliveira, V.M.J. (1998). O Complexo Plutónico de Monforte-Santa Eulália (Alentejo-NE, Portugal Central): caracterização geoquímica e considerações petrogenéticas. *Comun. Inst. Geol. Min.* 83: 127-142.
- Lopes, J.C., Sant'Ovaia, H., Martins, H.C.B., Nogueira, P., Lopes, L. (2016). U-Pb geochronology and Nd isotope contributions to the interpretation of a peculiar ring massif: the Santa Eulália plutonic complex (SW Iberia, Portugal). 35th International Geological Congress Symposia, American Geoscience Institute, 2503
- Pereira, M.F., Gama, C., Rodríguez, C. (2017). Coeval interaction between magmas of contrasting composition (Late Carboniferous-Early Permian Santa Eulália-Monforte massif, Ossa-Morena Zone): field relationships and geochronological constraints. *Geologica Acta* 15 (4): 409-428.
- Evensen, N.M., Hamilton, P.J., O'Nions, R.K. (1978). Rare-earth abundances in chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 42/8: 1199-1212.

Identificação de estruturas sedimentares utilizando imagens de Tomografia Axial Computorizada em depósitos de tempestade e tsunami

Sedimentary structures identification on CT-scan imagery from tsunami and storm deposits

R. A. Santos¹, P. J. M. Costa^{2,3*}, I. Bosnic^{1,2}, A. Mena⁴

¹ Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, Edifício C6, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

² Universidade de Lisboa, Instituto Dom Luiz, Edifício C6, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

³ Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, Rua Sílvio Lima, Pólo II, 3030-790 Coimbra, Portugal

⁴ Universidade de Vigo, Departamento de Xeociencias Mariñas e Ordenación do Territorio, Vigo, España

* ppcosta@dct.uc.pt

Resumo:

Neste trabalho apresentam-se resultados preliminares da análise e tratamento de imagens obtidas por tomografia axial computadorizada em sedimentos provenientes de diferentes depósitos de tempestade e tsunami. Este método, de alta resolução espacial, auxiliou o reconhecimento de estruturas sedimentares e na percepção da distribuição de sedimentos densos, de outra forma, dificilmente seriam observáveis.

Palavras-chave: sedimentologia; laminações de sedimentos pesados; transporte sedimentar; Tomografia Axial Computorizada

Abstract:

This work presents preliminary results of image processing and analysis obtained by computerized axial tomography scan in sediments from different storm and tsunami deposits. This method provided great support in identifying sedimentary structures and the distribution of heavy sediments at great spatial resolution that would otherwise be difficult to observe.

Keywords: sedimentology; heavy sediments laminations; sediment transport; *CT-scan imagery*

INTRODUÇÃO

A utilização de dados geológicos permite uma análise de alta resolução espacial (vertical e horizontal) em depósitos sedimentares formados na sequência de galgamentos costeiros gerados por tsunamis e tempestades. A análise do registo sedimentar permite identificar diferentes fases de inundação no registo estratigráfico, possibilitando uma reconstrução mais fiável e contribuindo para o refinamento de modelos físico-matemáticos que descrevem estes eventos. Isto conduzirá a uma melhor avaliação e caracterização da perigosidade. Os registos sedimentares de depósitos de tsunami e tempestade têm sido analisados utilizando um conjunto diversificado de técnicas, sobretudo destrutivas (macro e micro texturais, mineralógicas, micropaleontológicas, geoquímicas, cronológicas, magnéticas, etc.), para caracterizar e interpretar os sedimentos.

Neste trabalho aplicou-se, de forma inovadora, uma metodologia de análise de imagens de alta resolução obtidas através da Tomografia Axial Computorizada (TAC) a sedimentos de diferentes

locais: estuário da Ribeira de Almargem, laguna de Salgados (Portugal) e a planície costeira de Misawa (Sendai, Japão). Estes locais são depressões aluviais onde se detetam lâminas arenosas na coluna litoestratigráfica, assinaturas deixadas por eventos extremos (tsunami de 1755, tsunami de 2004, galgamentos de tempestades contemporâneas) que contrastam com a sedimentação de fundo.

Falvard et al. (2017) propuseram a utilização de imagens TAC (um método não-destrutivo) em sedimentos para resolver o sentido de fluxo e identificar zonas com maior densidade de minerais pesados. Desta forma, foi possível associar diferentes fases de inundação e retorno a sub-unidades dos depósitos de tsunami (Falvard et al., 2017).

No presente trabalho pretende-se apresentar resumidamente um método que permite, com alta resolução e de maneira não-destrutiva, uma melhor caracterização da estrutura interna de depósitos de tsunami e tempestade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os box-cores foram colhidos em paredes de sanjas abertas em sedimentos aluviais dos locais acima referidos. Posteriormente foram submetidos a TAC usando equipamento Helicoidal Multicut ECLOS (HITACHI) da Universidade de Santiago de Compostela. A resolução de medição é de 0.625 mm de largura e obtiveram-se 8 imagens por cada rotação do tubo de raios-x. A resolução por "voxel" (pixel volumétrico ou unidade cúbica representado num objeto 3D) é 0.2 x 0.2 x 0.625 mm. Os parâmetros de aquisição utilizados foram de 120kV e 175 mA. As imagens foram obtidas por meio do software MRicro (Rorden e Brett, 2000). As imagens TAC permitem, de forma detalhada, e sem grande preparação da amostra, obter informações digitais, visualizar o objeto e as suas geometrias e propriedades em 3 dimensões.

Resumidamente, este método traduz a capacidade que o material analisado tem em absorver raios-x. Materiais com maior capacidade de absorção produzem imagens com cores mais claras (Figura 1 e 2). Essa absorção relaciona-se, por exemplo, com a composição mineralógica dos diferentes materiais (Falvard et al. 2017). Uma descrição detalhada dos princípios físicos relacionadas a esta técnica encontra-se em Ketcham & Carlson (2001).

Para o processamento de imagens recorreu-se ao software gratuito "ImageJ". Primeiro, para facilitar a análise visual as imagens foram modificadas para tons de cinzento e posteriormente ajustaram-se as curvas de contraste e brilho (Figura 1 e 2 B) de forma a encontrar um equilíbrio entre as diferentes intensidades de cores (Figura 1B). Com uso da ferramenta *threshold*, dividiu-se o histograma da imagem em duas classes (preto e branco), ajustando-se manualmente essas classes de modo a separar o "primeiro plano" do "plano de fundo" (ou background).

RESULTADOS

A Figura 1 e a Figura 2 ilustram os resultados obtidos após o tratamento de imagem aplicado aos TAC obtidos nas diferentes amostras. Nas imagens originais (Figura 1A e Figura 2A) vêem-se variações cromáticas que são função das diferentes densidades dos sedimentos presentes nas amostras, no caso, rosa/branco corresponde a material mais denso e verde/azul a material menos denso. As imagens depois de alteradas para tons de cinzento (Figura 1B e Figura 2B) e uma vez ajustados os histogramas, revelam algumas estruturas sedimentares (Figura 1C e Figura 2C) e sedimentos mais densos (Figura 1D e Figura 2D).

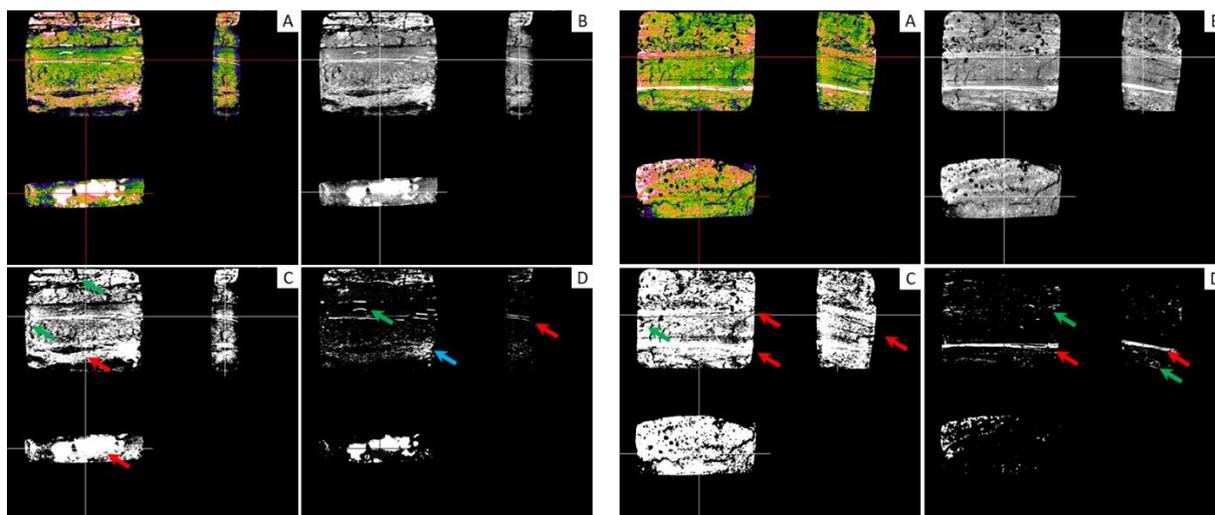


Figura 1 – A) Imagens originais dos TAC's aos box-cores colhidos no estuário da Ribeira de Almagem; B) Imagens modificadas para tons de cinzento; C) Imagens após aplicação do *threshold* que evidencia estruturas sedimentares (e.g. laminações, estratificação oblíqua e *rip-up clasts*); D) Imagens com o *threshold* a evidenciar os sedimentos mais densos.

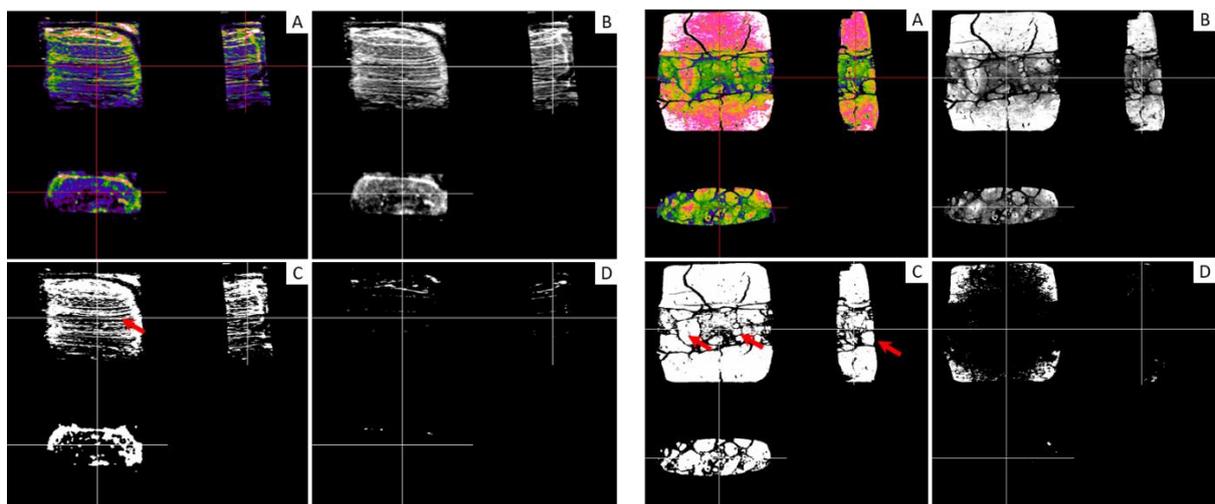


Figura 2 - A) Imagens originais dos TAC's aos box-cores colhidos na planície costeira de Misawa (imagens da esquerda) e na laguna de Salgados (imagens da direita); B) Imagens modificadas para tons de cinzento; C) Imagens após aplicação do *threshold* que evidencia estruturas sedimentares (e.g. laminações e *rip-up clasts*); D) Imagens com o *threshold* a evidenciar os sedimentos mais densos.

DISCUSSÃO & CONCLUSÃO

De forma a interpretar os resultados procedeu-se a uma análise conjunta das diferentes segmentações das imagens. Por exemplo, na Figura 1C observam-se estruturas resultantes de

bioturbação (assinaladas com setas verdes), possivelmente, figuras de carga e *rip-up clasts* (à esquerda) e duas superfícies de erosão (à direita) assinaladas com setas vermelhas. Na Figuras 1D, evidencia-se a presença de laminações de sedimentos densos (setas vermelhas), uma concentração de sedimentos densos (mais grosseiros) e possíveis fragmentos de conchas de gastrópodes (setas verdes). Na Figura 2C, destacan-se as estruturas laminadas unidireccionais (imagem da direita) e *rip-up clasts* intercalados em material fino e mais compactado (setas vermelhas na imagem da direita).

Assim, com a utilização e tratamentos das imagens TAC nestas amostras, foi possível identificar com melhor nitidez estruturas sedimentares e elementos clásticos. Conclui-se assim que esta técnica apresenta vantagens na análise sedimentológica dado o seu potencial na identificação de arquiteturas deposicionais.

Agradecimentos

Os autores beneficiaram de apoio dos projectos: OnOff - *PTDC/CTA-GEO/28941/2017 - Coupling onshore and offshore tsunami record: complementary tools for a broader perspective on tsunami events* e do contrato-programa FCT- Instituto Dom Luiz UID/GEO/50019/2013.

Bibliografia

- Falvard, S., & Paris, R. (2017) – X-ray tomography of tsunami deposits: Towards a new depositional model of tsunami deposits. *Sedimentology*, vol.64(2): 453-477.
- Ketcham, R. A., & Carlson, W. D. (2001) – Acquisition, optimization and interpretation of X-ray computed tomographic imagery: applications to the geosciences. *Computers & Geosciences*, vol. 27(4): 381-400.
- Rorden, C. & Brett, M. (2000) – Stereotaxic display of brain lesions. *Behavioural Neurology*, vol. 12: 191-200.

Conjugação do registo sedimentar onshore e offshore de tsunamis no Holocénico – resultados preliminares do projecto OnOff

Coupling the Holocene onshore and offshore sedimentary record of tsunamis – preliminary results of project OnOff

S. Cunha¹, P.J.M. Costa^{2,3*}, RV-METEOR - M-152 Scientific Team

¹ Instituto Hidrográfico, Divisão de Geologia Marinha, Rua das Trinas 49, 1249-093, Lisboa

² Universidade de Lisboa, Instituto Dom Luiz, Edifício C6, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

³ Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, Rua Sílvio Lima, Pólo II, 3030-790 Coimbra, Portugal *

* ppcosta@dct.uc.pt

Resumo:

Neste trabalho apresentam-se resultados preliminares obtidos no âmbito do projeto *OnOff*. O projeto *OnOff* tem como objetivo principal o de reconstruir eventos extremos (e.g. tsunamis) que afectaram a costa portuguesa durante o Holocénico. Para tal, e ambicionando uma melhor definição de períodos de retorno para a costa portuguesa, são analisadas evidências geológicas em terra e nos fundos submarinos proximais. Nesse sentido, estão a ser conduzidos estudos sedimentológicos de alta resolução e modelação numérica de transporte sedimentar com foco na costa sul de Portugal. Este projeto tem investigado as assinaturas deposicionais de tsunami na plataforma interna algarvia e conjuga essa informação com as assinaturas erosivas e deposicionais detectadas num conjunto de zonas costeiras algarvias. Os resultados preliminares confirmam a importância do evento de 1755 nesta região, mas parecem também sugerir a assinatura de pelo menos mais um evento de origem tsunamigénica, mais antigo e de intensidade significativa na estratigrafia tardi-holocénica da plataforma algarvia.

Palavras-chave: Holocénico, Sedimentologia, Onda de retorno, Plataforma interna

Abstract: In this work, we present preliminary results obtained under the scope of *OnOff* project. The *OnOff* project aims to reconstruct extreme events (e.g. tsunamis) that affected the Portuguese coast during the Holocene. Geological evidences, detected both onshore and offshore, are studied aiming to achieve a better definition of return periods for the Portuguese coast. With this objective, high-resolution sedimentological studies and sediment transport numerical modeling have focused on the south coast of Portugal. This project investigates tsunami depositional signatures on the Algarve's inner shelf and combines this information with erosive and depositional signatures detected in a group of coastal Algarve zones. Preliminary results confirm the importance of the 1755 event in this region, but also seem to suggest the signature of at least one older tsunami event with relevant intensity in Late Holocene stratigraphy of the Algarve shelf.

Key-words: Holocene, Sedimentology, Backwash, Inner Shelf

INTRODUÇÃO E MÉTODOS

Este projeto multidisciplinar tem como principal objetivo a análise do registo sedimentar da costa e plataforma continental algarvia para investigar assinaturas de eventos extremos que afetaram a região durante o Holocénico. Para além disso, o projeto pretende modelar a hidrodinâmica e morfodinâmica associadas a estes eventos e também produzir um resultado que possa ser benéfico

para a sociedade, produzindo cenários de inundação por tsunamis que possam apoiar a gestão de áreas costeiras pelas autoridades governamentais. O presente trabalho versará na componente sedimentológica deste estudo, nomeadamente nos trabalhos realizados na plataforma algarvia.

Em novembro de 2018, no âmbito do projeto OnOff, foi realizada uma campanha de amostragem (M152) na plataforma algarvia a bordo do navio oceanográfico alemão FS Meteor. Nesta campanha mapeou-se a estratigrafia de depósitos recentes da plataforma interna do Algarve, utilizando métodos hidroac sticos e obtendo sondagens geológicas para análise sedimentológica. A  rea de estudo estende-se entre Portimão e Sagres (Fig. 1).

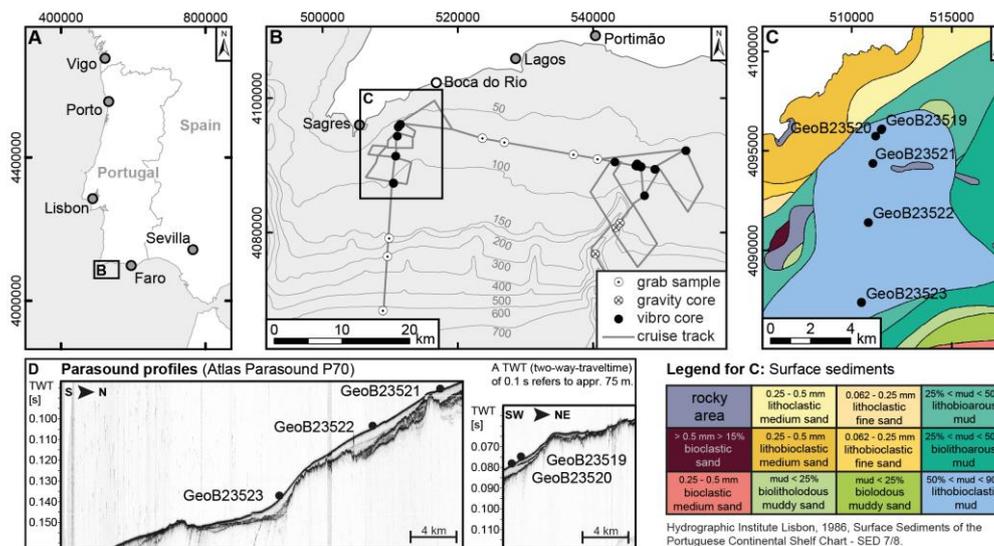


Figura 2. A - Localiza o da área de estudo na plataforma algarvia. B - Localiza o das esta es de sondagem, trajecto do RV-Meteor durante a campanha e informa o batimétrica. C - Distribui o e classifica o dos sedimentos superficiais na porão oeste da área de estudo (IH, 1986). D - Perfil Parasound representando a espessura sedimentar ao longo do trajecto Oeste.

A plataforma algarvia tem uma largura aproximada de 17km e inclina o suave até ao talude, próximo aos 150 m de profundidade (Lopes e Cunha, 2010). Nesta zona predominam areias m dias biog nicas até os 30m de profundidade e sedimentos siltosos ao largo desta profundidade (IH,2009). A determina o do local exacto de amostragem foi definida após interpreta o de dados geofísicos obtidos a bordo (e.g. sub-bottom profiler e sondador multifeixe). As sondagens foram feitas entre os 65 e 500 m de profundidade utilizando-se um sistema de vibrocoreing, com uma penetra o e recupera o máxima próxima de 6 m em sedimentos (sondagens obtidas até 100 m de profundidade). As sondagens obtidas a profundidades entre os 100 e os 500 m foram recolhidas com recurso a um corer de gravidade, tendo sido amostrado um máximo de 2m de coluna sedimentar. Para análise textural as sondagens foram sub-amostradas em 1 cm a cada 10 cm, tendo sido subsequentemente crivadas com um conjunto padrão de peneiros com malhas separadas a intervalos de 0.5 Φ (até 1 Φ). As fra es menores que 500 μ m foram analisadas através de um equipamento de difrac o a laser (Malvern Mastersizer Hydro 2600 MU).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos no perfil Oeste da área de estudo (Fig. 1C). A partir de levantamentos geofísicos e batimétricos do fundo marinho, foi possível identificar bacias deposicionais com maior potencial de preservação de sedimentos recentes da estratigrafia holocénica. Para confirmação da análise indireta, foram obtidas 8 sondagens em 5 estações (Fig. 2).

A estratigrafia das sondagens GeoB23519, GeoB23520 e GeoB23521 indica uma cobertura com cerca de 15 cm de siltes grosseiros cobrindo um nível de areia siltosa que se estende até 1,5 m abaixo da superfície. Observam-se depois sedimentos lodosos, até 2,5 m abaixo da superfície, e detecta-se uma transição gradual para um nível com areia fina na secção mais inferior das sondagens (Fig. 2). Foram observados bioclastos bem preservados de bivalves e gastrópodes ao longo de toda a sequência litoestratigráfica. A sequência superior de areia siltosa, é interrompida por três níveis de cascalho biogénico (possivelmente correlacionáveis com eventos extremos) e por uma camada com cerca de 32cm (1,22-1,55m abaixo da superfície na sondagem GeoB23519-01) composta por areia média quartzosa.

Esta camada particular foi associada a um evento extremo e está delimitada por um contacto abrupto no topo e por um contacto erosivo na sua base. Para além disso, nos 3 cm basais do depósito, observam-se também estruturas sedimentares resultantes de transporte por tracção, típicas da ação de fluxo de alta concentração sedimentar (Fig. 2).

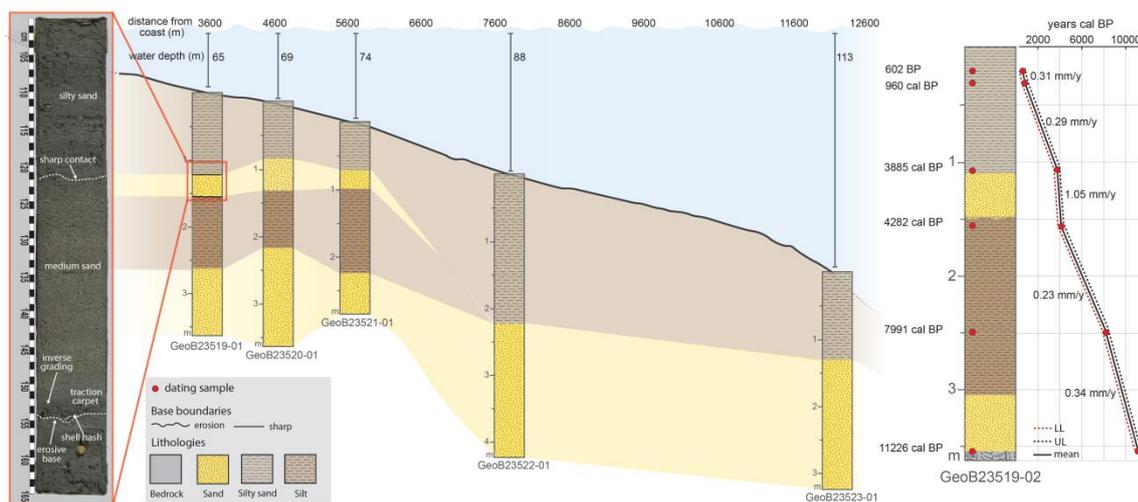


Figura 3. Perfil de sondagens a oeste da área de estudo com respetivas estratigrafias. Fotografia da sondagem GeoB23519-01 com ênfase na camada do evento extremo (1,22-1,55m) e estruturas sedimentares associadas. Modelo de profundidade/idade obtido por datação de radiocarbono ao longo da sondagem GeoB23519-02.

As análises granulométricas obtidas para toda a sondagem GeoB23519-01 distinguem claramente níveis diferentes, com valores médios de tamanho de grão de 4.6 Φ para os siltes grosseiros do topo, 3.7 Φ para as areias siltosas, onde se encontra intercalado o nível do evento extremo (este, por sua

vez, apresenta tamanho médio de grão de 1.4 Φ), bem como 5.0 Φ e 3.8 Φ para os sedimentos lodosos inferiores e areias finas basais, respetivamente. Datações obtidas por radiocarbono permitem colocar este evento na proximidade dos 4000 anos cal BP (Fig. 2). A sua relevância (espessura) no registo sedimentar é de uma ordem de grandeza superior ao observado para o evento de 1755 (Costa et al., 2016).

CONCLUSÃO

As características sedimentares observadas nas sondagens obtidas na plataforma interna algarvia permitiram detectar pelo menos um evento de alta energia (provavelmente tsunami) que até agora não tinha sido reconhecido na estratigrafia de depósitos costeiros do Algarve. Um conjunto alargado de características estratigráficas, como os contactos, abrupto no topo e erosivo na base, tipo de estruturas internas e distribuição espacial, bem como algumas características composicionais e granulométricas dos depósitos são determinantes para a sua associação com eventos de elevada energia, eventualmente de carácter tsunamigénico. Dos quatro depósitos de alta energia detectados, salienta-se, pela sua expressão estratigráfica, o evento com idade de 4000 anos cal BP.

Agradecimentos

Os autores beneficiaram de apoio dos projectos: OnOff - *PTDC/CTA-GEO/28941/2017 - Coupling onshore and offshore tsunami record: complementary tools for a broader perspective on tsunami events* e do contrato-programa FCT- Instituto Dom Luiz UID/GEO/50019/2013.

Bibliografia

- Costa, P., González-Villanueva, R., Andrade, C., Freitas, M.C., 2016, Imprints of the AD 1755 tsunami and recovery of coastal systems: examples from the Algarve (South Portugal.): In: Santiago-Fandino, V., Tanaka, H., Spiske, M. (eds.), *Tsunami and Earthquakes in Coastal Environments – Significance and Restoration*. E.book: ISBN 978-3-319-28528-3; hardcopy: ISBN 978-3-319-28526-9
- Hydrographic Institute Lisbon, 1986, *Surface Sediments of the Portuguese Continental Shelf Chart - SED 7/8*.
- Instituto Hidrográfico, 2009, *Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental – Cabo São Vicente ao Rio Guadiana*, 1: 50 000, 1 sheet. 2nd edition.- Lopes, F.C. and Cunha, P.P., 2010, A plataforma continental algarvia e províncias adjacentes: uma análise geomorfológica: *Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História: Geologia Clássica*, v. 1, p. 479-489. Edited by Cotelo Neiva, J.M., Ribeiro, A., Mendes Victor, L., Noronha, F. and Magalhães Ramalho, M., In Portuguese.

Mapa metalogénico para as mineralizações W - Sn do Norte e Centro de Portugal e de Castela e Leon, Espanha

Mettallogenic map for W-Sn of northern and central Portugal, and Castela and Leon, Spain

A. Mota^{1,2*}, L. Lima^{1,2}, V. Ramos^{2,3}, O. Fádón⁴, F. Noronha^{1,2}

¹ Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Geologia Ambiente e Ordenamento de Território, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal, ² Instituto de Ciências da Terra, Pólo do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal, ³ Camborne School of Mines, University of Exeter, Penryn Campus, Cornwall TR10 9FE, UK, ⁴ SIEMCALSA, Avda. Rodrigo Zamorano, 6, Cp. 47151 Parque Tecnológico de Boecillo, Valladolid, España

* alexandra.fernandes@fc.up.pt

Resumo: A elaboração de um mapa metalogénico é um exercício complexo, mas muito importante para o desenvolvimento da geologia económica de um país. Para a sua elaboração é necessário ter em conta a geologia da região em estudo, pois esta é uma das principais condicionantes para a formação de um jazigo mineral. Neste caso, o mapa metalogénico elaborado refere-se às mineralizações primárias de tungsténio e estanho, pelo que é necessário definir e hierarquizar os metalotectos que condicionaram a deposição e a concentração do W e/ou Sn. Neste trabalho apresentamos um caso de estudo que permitiu unificar a geologia entre as várias regiões e adotar os melhores critérios de classificação das rochas graníticas. Para exemplificar o exercício de análise, apresentamos os resultados para a área que compreende o “Batólito das Beiras”.

Palavras-chave: mineralizações, mapa metalogénico, granitos

Abstract: The elaboration of a metallogenic map is a complex but very important exercise for the development of the economic geology of a country. For its elaboration it is necessary to consider the geology of the region under study as this is one of the main conditions for the formation of a mineral deposit. In this case, the elaborated metallogenic map is for the primary tungsten and tin mineralizations, so it is necessary to define and hierarchize the metallotects that conditioned the deposition and concentration of W and/or Sn. In this paper we present a case study that allowed to unify the geology between the various regions and adopt the best classification criteria of granitic rocks. To exemplify the analysis exercise, we present the results for the area comprising the “Beiras Batholith”.

Keywords: mineralizations, metallogenic map, granites

INTRODUÇÃO

Um dos principais objetivos do projeto ESMIMET e da sua atividade 1 é o da elaboração de um mapa metalogénico de W-Sn para as regiões Norte e Centro de Portugal e de Castela e Leão em Espanha.

Os trabalhos realizados no âmbito desta atividade incluíram a constituição de uma base de dados com as informações disponíveis relativas às regiões em estudo, a colheita de amostras (SIEMCALSA) em alvos pré-definidos e a realização de estudos laboratoriais (FCUP, UniLEON). Foi possível a definição de diferentes tipos de alterações presentes nos jazigos minerais alvo, nomeadamente nos skarns de Los Santos, Otero de Herreros, Covas, Tabuaço, Morille-Martinamor e Valtreixal, nos greisens e leucogranitos de Golpejas, Bejanca, Feli e nos filões da Panasqueira, Vale das Gatas, Peña do Seo, Borralha, Barruecopardo e Valderrodrigo. Foi elaborado um relatório subordinado ao tema “Geologia e Classificação Tipológica das Mineralizações”, de que constam, nomeadamente, uma caracterização litológica e mineralógica dos jazigos estudados. Com base nos estudos geológicos, petrográficos, geoquímicos, mineralógicos e de inclusões fluidas foi possível definir fatores como o controlo estrutural, o controlo litológico e identificar o tipo de rochas bem como a relação espaço-tempo granitos-mineralizações para os diferentes jazigos. Tal permitiu a elaboração de um segundo relatório subordinado ao tema “Determinação de metalotectos” onde se descreveram os principais controlos de natureza paleogeográfica, petrológica, estrutural e idade das mineralizações presentes nos jazigos estudados.

MAPA METALOGÉNICO

Tendo em conta os metalotectos definidos para a elaboração do mapa metalogénico verificou-se a necessidade de adaptar os mapas geológicos existentes com particular ênfase no que respeita às litologias graníticas. A classificação dos granitos adotada nos mapas geológicos dos dois países é diferente e levou à necessidade de unificar estas classificações uma vez que é com os granitos que estão diretas ou indiretamente relacionados as mineralizações estudadas.

Numa primeira fase a tentativa foi elaborar o mapa geológico tendo em conta a classificação dos granitos por idades, tendo-se verificado não ser a mais adequada para o fim em vista, uma vez que diferentes litologias graníticas apareciam incluídas no mesmo grupo e, como tal, não era possível inferir quais os “granitos férteis”.

Após o estudo de diversos tipos de classificações, foi adotada a classificação por litologia, pois verifica-se que há uma tendência para as mineralizações, em função do seu tipo, estarem mais relacionadas com um certo tipo de granito. Por exemplo, as de Sn em pegmatitos ou em filões de quartzo só com cassiterite associadas a granitos de duas micas Sin-D3, as filonianas de quartzo com Sn/W com granitos tardi-D3 ou, mais especificamente, com granitos mais evoluídos representados por pequenas massas aflorantes (granitos de duas micas com moscovite dominante ou granitos greisenizados) espacialmente associadas a granitos biotíticos ou biotíticos -moscovíticos.

CASO DE ESTUDO

Apresenta-se o exemplo da área que inclui o “Batólito das Beiras” (Neves e Godinho, 1992; Azevedo e Aguado 2006), pois trata-se de um exemplo de excelência para testar a importância da classificação e descrição de rochas graníticas mais ou menos especializadas em Sn, em W e/ou Sn e W, associados a mineralizações filonianas.

A região é reconhecida por diversas ocorrências de W e Sn sendo as mais importantes as das antigas minas da Bejanca, Queirã, Bodiosa, Quintela, Caria, Lagares de Estanho e Santo André, entre outras.

Ferreira et al. (1987) definem vários grupos de granitos para a área em questão: o grupo, menos representado, que é o dos granitos biotíticos sin-F3 (“granodioritos precoces”); o grupo, também pouco representado, dos granitos de duas micas sin-F3; e os grupos mais representados que são o dos granitos biotíticos tardi-D3 e tardi a pós F3. Verifica-se, contudo, que as ocorrências de mineralizações estão mais concentradas nos granitos com duas micas classificados como tardi a pós-D3. Por exemplo, na carta geológica 1:50 000 de Viseu (Ferreira et al., 2010), verifica-se que as ocorrências de W e/ou Sn estão, fundamentalmente, concentradas em dois maciços graníticos: o da Senhora do Castro e o de Abraveses, que são anteriores aos granitos biotíticos das Beiras, factos bem demonstrativo magmatismo polifásico. No maciço de Abraveses podem distinguir-se três fácies (o granito de Vila Pouca, o granito de Abraveses e o granito da Portela). O granito de Abraveses é porfiróide de grão médio a grosseiro, essencialmente moscovítico com turmalina; a biotite é escassa ou, até mesmo, ausente. Contacta com o granito biotítico tardi a pós-D3 e, na zona próxima do contacto, aumenta a frequência de megacristais de feldspato potássico, diminui a quantidade de moscovite presente, os megacristais têm uma cor rósea, e encontram-se aqui, também, bolsadas pegmatíticas centimétricas, fenómenos que sugerem a influencia da intrusão mais tardia dos granitos biotíticos e a influencia de um metassomatismo potássico, como preconizado por Schermerhorn (1956). O granito da Portela possui uma granulometria mais fina que o de Abraveses, e é também, um granito moscovítico com turmalina abundante e biotite muito escassa, mas tem a particularidade de exibir quartzo globular. Texturalmente os granitos da Portela e o de Abraveses são homogéneos com deformação pouco evidente. O granito de Vila Pouca exhibe intensa deformação e tem uma granulometria mais fina que o granito de Abraveses. O maciço da Senhora do Castro ocorre no seio do maciço de Abraveses e é, por sua vez, representado por três fácies distintas (o granito Sra. Castro, o granito oeste da Sra. do Castro e o granito S. Martinho). O granito oeste da Sra. do Castro é o mais nuclear, com grão fino muito homogéneo, mas com uma deformação pouco vincada. O granito da Sra. do Castro apresenta grão médio a fino, onde não se observam megacristais e biotite escassa. Por sua vez, o granito de S. Martinho de grão médio e onde a biotite com alguns megacristais e caracteriza-se pela presença de agregados de biotite.

Os estudos petrográficos e geoquímicos revelam uma diferenciação em que os granitos mais evoluídos possuem duas micas. Os granitos porfiroides biotítico - moscovíticos (biotite > moscovite)

tipo Alcafache e os biotítico moscovíticos porfiroides (biotite = moscovite) tipo Fagilde possuem características geoquímicas idênticas e há uma continuidade na tendência de diferenciação destes com os granitos de grão médio de duas micas tardi a pós-tectónicos (Neiva et al. 2019). Por outro lado, a geoquímica dos granitos biotíticos porfiroides de grão médio a grosseiro (Mangualde) e os porfiroides de grão muito grosseiro sugerem características diferentes dos granitos biotítico - moscovíticos anteriormente referidos.

Considerações finais

Os granitos devem ser encarados como imprescindíveis à ocorrência de mineralizações. Contudo, em função da sua génese, desempenham um papel diferente nos processos que deram origem às concentrações minerais. Mais do que fonte dos fluidos e do essencial do "stock" de metais (Romer e Kroner, 2016), os granitos devem também ser encarados como fonte de calor imprescindível para a existência de bons circuitos convectivos geradores dos recursos minerais (Noronha et al. 2013). A profundidade de instalação tem também a ver com os tipos de mineralização e sua posição em relação ao contacto e com o maior ou menor desenvolvimento de um zonamento peribatolítico. Nos maciços que se instalam a menor profundidade, a cristalização é mais rápida e a atividade de voláteis é forte, o que implica o desenvolvimento de metassomatismo intenso. Os termos mais evoluídos, denotam excesso de Na que se traduz por albitização tardia quer das plagioclases quer do feldspato-K nos exemplos associados a mineralizações com Sn, e por outro lado, a feldspatização com microclina ocorre em granitos espacialmente associados a mineralizações de W. O objetivo deste projeto é a elaboração de um mapa metalogénico, mas a nossa investigação pretende ir mais longe verificando os alinhamentos destas mineralizações e quais as suas condicionantes e de que forma é possível extrapolar essas condicionantes no futuro da prospeção quando presentes granitos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: ao projeto POCTEP- Interreg 0284_ESMIMET_3_E "*Desarrollo de Capacidades Interregionales en torno a los Recursos Estratégicos en Minería Metálica*" pelo apoio financeiro; ao Instituto Ciências da Terra - Pólo Porto pela utilização dos seus laboratórios para realização dos estudos para este trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- Azevedo MR, Aguado, BA (2006). Origem e instalação de granitóides variscos na Zona Centro-Ibérica. In Geologia de Portugal no contexto da Ibéria. Dias R, Araújo A, Terrinha P, Kullberg JC (eds). Universidade de Évora: 107-121
- Ferreira N, Iglesias M, Noronha F, Pereira E, Ribeiro A, Ribeiro ML (1987). Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmica. In: Bea F, Carnicero A, Gonzalo JC, López Plaza M. & Rodríguez Alonso MD (eds). Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hesperico. Libro Homenaje a LC Garcia de Figuerola, Editorial Rueda, Madrid: 37-51.
- Neiva AMR, Gomes CL, Silva PB, Gomes MEP, dos Santos, ACT (2019). Geochemistry of granitic aplite-pegmatite dykes and sills and their minerals from the Gravano-Gouveia area in Central Portugal. *Chemie Der Erde* (January): 1-14
- Noronha, F., Ribeiro, M.A., Almeida, A., Dória, A., Guedes, A., Lima, A., Martins, H.C., Sant'Ovaia, H., Nogueira, P., Martins, T., Ramos, R., Vieira, R., (2013), Jazigos Filonianos hidrotermais e aplitopegmatitos espacialmente associados a granitos (norte de Portugal) in Geologia de Portugal, Volume I – Geologia Pré-mesozóica de Portugal, Escolar Editora, pp. 403-438
- Pereira, N., Godinho, M.M., Neves, L., Pereira, A., Sequeira, A., Castro, P., Santos, T.B. (2010) – Notícia explicativa da folha 17-A 1/50 000 da região de Viseu. Lisboa
- ROMER RL, KRONER U (2016). Phanerozoic tin and tungsten mineralization-Tectonic controls on the distribution of enriched protoliths and heat sources for crustal melting. *Gondwana Research* 31: 60–95.
- Schermerhorn, L.J.C., 1956. Igneous metamorphic and ore geology of the Castro Daire - São Pedro do Sul - Sátão region (Northern Portugal). *Comun. Geol. Portugal*, 37, 617.

Modelação conjunta de dados sísmicos e magnéticos na região do vulcão Fontanelas, Esporão da Estremadura

Joint modeling of seismic and magnetic data on the region of the submarine volcano Fontanelas, Estremadura Spur

P. Simões^{1*}, P. Terrinha^{2,3}, M. Neres^{2,3}

¹ Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, Portugal

² Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal

³ Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Portugal

* paloma1996simoies@gmail.com

Resumo: Este trabalho consiste na interpretação de cinco perfis de sísmica multicanal na região do vulcão submarino Fontanelas (Esporão da Estremadura) e na modelação direta magnética. A interpretação sísmica permite compreender a estrutura do complexo vulcânico, incluindo a superfície do vulcão, chaminés principais e secundárias, soleiras e escoadas lávicas. A modelação magnética permite calcular a resposta dos campos potenciais da Terra à presença de corpos magmáticos, e assim confirmar a sua localização e estimar sua profundidade, extensão e geometria. Com base em critérios sismo-estratigráficos e propriedades magnéticas estimadas, pôde-se associar o magmatismo do edifício vulcânico Fontanelas e outros cones secundários ao evento magmático alcalino do Cretácico Superior (pré-Campaniano). Várias soleiras foram observadas e grandes intrusões (lacólitos) próximas a camadas do Jurássico Superior foram modeladas.

Palavras-chave: magmatismo, vulcão Fontanelas, margem Oeste Ibérica, modelação magnética, sismo-estratigrafia

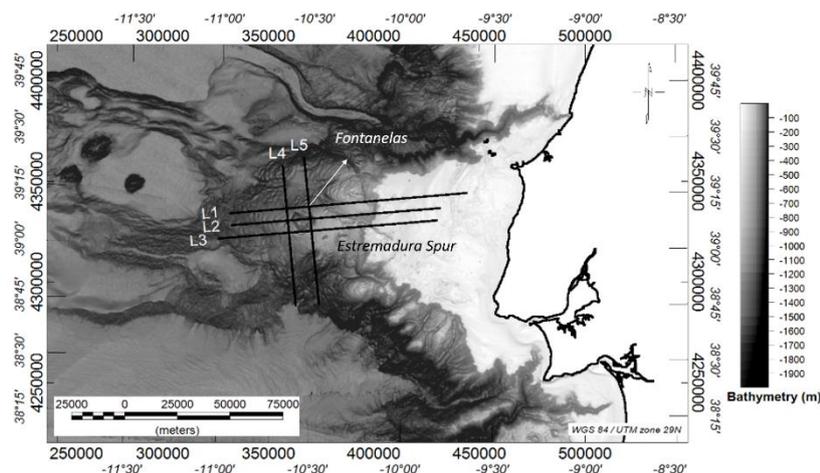
Abstract: This work consists in the interpretation of five multichannel seismic profiles of the surrounding region of the underwater volcano Fontanelas, as well as magnetic forward modeling. Fontanelas is a Late Cretaceous post-rift magmatic event in the Estremadura Spur. The seismic interpretation allows the understanding of the volcanic complex, including the surface of the volcano, main and secondary chimneys, sills and lava flows. Magnetic data and the Earth's field response to the presence of the intrusion, allow to confirm the location of the magmatic bodies and estimate its depth, extension and geometry. Based on seismic-stratigraphic criteria and magnetic properties, it was possible to infer that the age of the main magmatic event that gave rise to the volcanic building Fontanelas and the other secondary cones is Upper Cretaceous, older than Campanian. Various others sills were also observed and large intrusions (laccolith) near the Upper Jurassic layers were modeled.

Key-words: magmatism, magnetic modeling, Fontanelas volcano, West Iberia, seismo-stratigraphy

INTRODUÇÃO

Este trabalho consistiu em duas grandes etapas complementares: interpretação sismo-estratigráfica de cinco perfis 2D de sísmica multicanal e modelação magnética (Figura 1). A interpretação sismo-estratigráfica permitiu estudar a idade relativa das discontinuidades e eventos, definir a estrutura e mapear a superfície do complexo vulcânico observado, e assim inferir a sua idade. A modelação magnética tem o propósito de confirmar a existência e localização das intrusões magmáticas interpretadas pela sísmica e de estudar o tipo, extensão e geometria desses corpos.

Figura 4 - Localização das linhas sísmicas estudadas, adquiridas pela TGS Nopec e mapa batimétrico da zona (EMODNET Bathymetry <http://www.emodnetbathymetry.eu/>).



DESENVOLVIMENTO

O monte submarino Fontanelas (MSF) é um edifício vulcânico com cerca de 3000m de altura (Pereira et al., 2016), desde o topo até à sua base subterrânea. Está localizado no Esporão da Estremadura, um bloco soerguido de crosta continental de 100 km de largura (Pereira et al., 2016). O MSF está localizado entre o complexo intrusivo de Sintra e o monte submarino Tore. Estudos geoquímicos de amostras dragadas (Miranda et al., 2010) identificaram lavas em almofada alteradas que correspondem a rochas alcalinas ultrabásicas e básicas. Os dados sísmicos utilizados neste estudo foram adquiridos durante a campanha PD-00 feita pela TGS-NOPEC (www.tgs.com), fornecidos por cortesia da DGEG (Direção-Geral de Energia e Geologia). Os correspondentes perfis de anomalia magnética foram retirados da grelha de dados compilados e reduzidos ao pólo de Luis e Miranda, 2008. A modelação direta 2D foi realizada através da extensão GM-SYS do software Oasis Montaj (Geosoft). As propriedades magnéticas assumidas para os diferentes blocos modelados foram atribuídas a partir de valores típicos de rochas magmáticas do Cretácico Superior *onshore* (Neres et al., 2012; 2014; Ribeiro et al., 2013). A interpretação sísmica dos horizontes Eocénico e Campaniano foi adaptada Pereira et al. (2015). Dos 5 perfis sísmicos interpretados e modelados, está aqui representado um, com direção aproximada E-W (L2). No geral a sísmica exhibe pacotes com reflexões paralelas a sub-paralelas, algumas afetadas por falhas normais (principalmente nas vertentes a oeste) (Figura 2) e inversas, assim como por dobras. Pacotes mais caóticos a transparentes, com o topo com elevada amplitude, muitas vezes correspondem a corpos magmáticos, conforme confirmado pela modelação magnética. Outros corpos caóticos ocorrem principalmente perto das vertentes de falhas e correspondem a deslizamentos de terra. A espessura das escoadas lávicas é maior na parte oeste dos perfis, que poderá indicar que o fluxo das lavas é maior para oeste, onde o fundo do mar está a maiores profundidades. O perfil sísmico foi convertido em profundidade atribuindo velocidades aos pacotes sísmicos, com base em velocidades de unidades sísmicas da margem ibérica (Alves et al., 2006). Como a velocidade dos corpos magmáticos é superior à das

rochas sedimentares encaixantes, o processo de interpretação, conversão em profundidade e modelação foi iterativo, até ao modelo geométrico e magnético final.

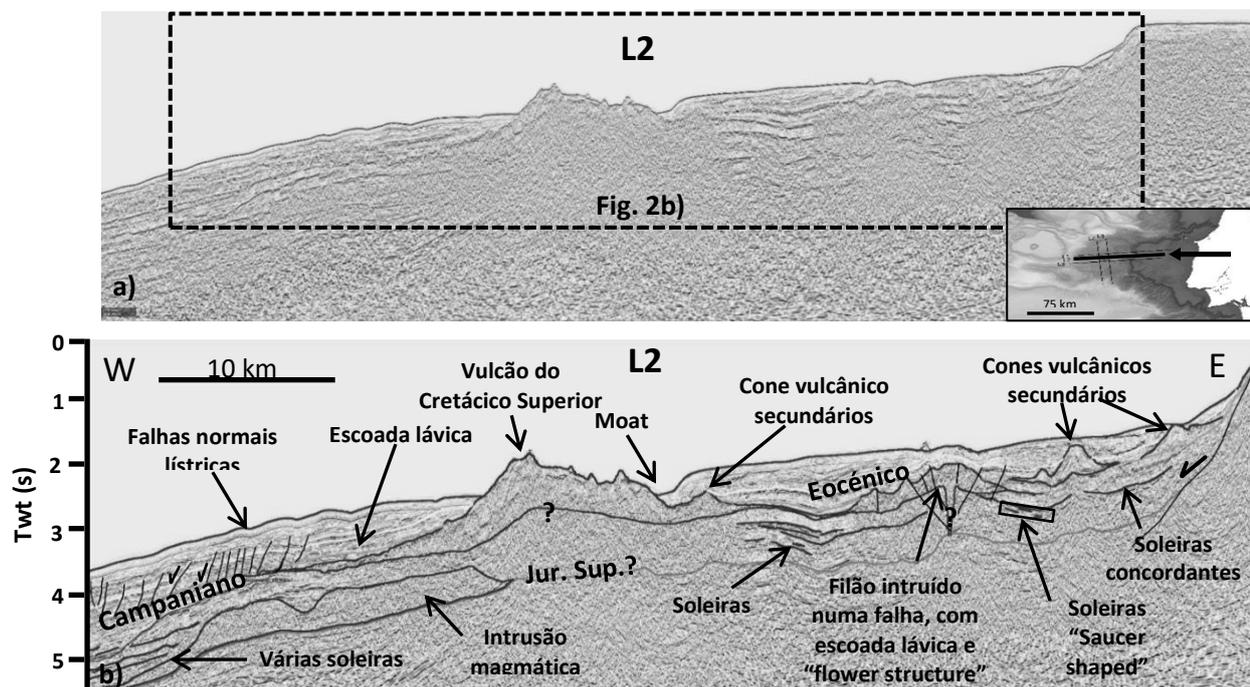


Figura 2 – Secção sísmica L2 (PD00-304) no Esporão da Estremadura não interpretada (a) e interpretada (b).

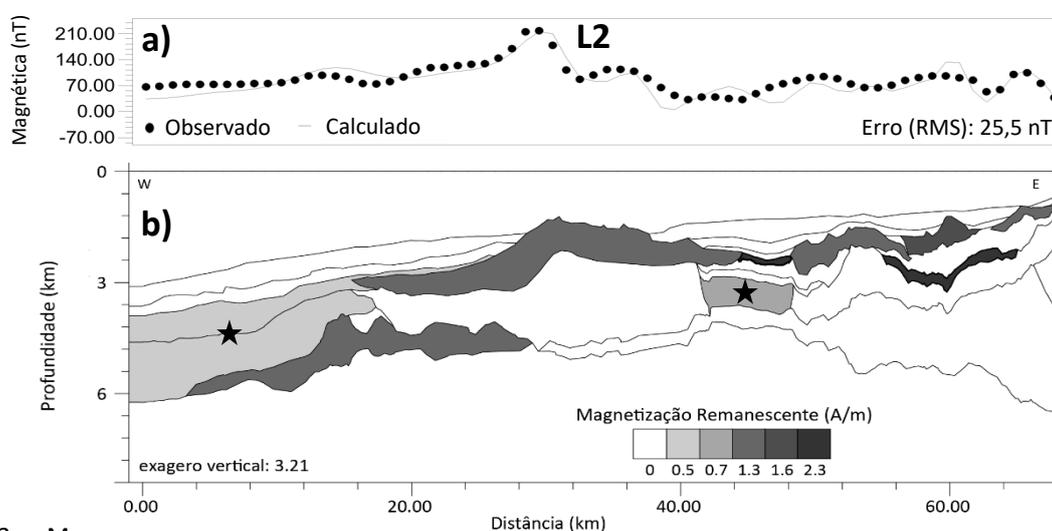


Figura 3 – Modelação magnética do perfil L2. a) valores magnéticos observados e calculados. b) modelo, delimitação dos pacotes sísmicos e valores de magnetização atribuídos. Estrelas: regiões com várias soleiras.

Para a modelação magnética considerou-se o campo indutor com inclinação 90° (dados reduzidos ao polo). Atribuiu-se às rochas sedimentares magnetização e susceptibilidade zero. Para os corpos magnéticos assumiu-se magnetização remanescente típica de rochas magmáticas *onshore* do Cretácico Superior (e.g. Neres et al., 2012; 2014). As principais alterações depois da modelação magnética foram: alteração da geometria e espessura das intrusões magmáticas (Figura 3); a existência e ausência de soleiras e outras intrusões magmáticas; a base dos corpos magmáticos.

CONCLUSÃO

O método de modelação conjunta utilizado permitiu identificar e inferir a existência de vários corpos magmáticos intrusivos e extrusivos nesta região do Esporão da Estremadura, além do vulcão Fontanelas. Foi possível datar este evento como sendo anterior ao Campaniano (83.6 Ma) através de estratigrafia sísmica, o que permite associar todos os corpos magmáticos identificados ao evento magmático alcalino do Cretácico Superior conhecido *onshore* (Sintra, Sines, Monchique, Complexo Vulcânico de Lisboa, corpos intrusivos menores) que pensamos correlativo do magnetismo alcalino existente na crista Madeira-Tore que abrange idades entre ~100 e ~ 80 Ma (Merle et al., 2018, and references therein). O valor de magnetização remanescente que melhor se ajusta ao cone vulcânico principal é de cerca de 1.5 A/m, semelhante ao observado em rochas magmáticas alcalinas do Cretácico Superior do *onshore* de Portugal. Alguns corpos magmáticos intrusivos encontrados estão intruídos em falhas originalmente normais, que durante a inversão tectónica, poderão ter sido reativadas como falhas inversas e a deformação compressiva pode ter sido acumulada nos locais de intrusões magmáticas.

AGRADECIMENTOS: A modelação dos dados magnéticos e a interpretação sísmica foi feita utilizando licenças de investigação do Oasis montaj (Geosoft) e do Landmark. Os dados sísmicos foram fornecidos por cortesia da DGEG. Este trabalho foi desenvolvido no SEISLAB, IPMA (membro do C4G – Collaboratorium for Geosciences).

Bibliografia

- Alves, T. M., Moita, C., Sandnes, F., Cunha, T., Monteiro, J. H., & Pinheiro, L. M. (2006). Mesozoic–Cenozoic evolution of North Atlantic continental-slope basins: The Peniche basin, western Iberian margin. *AAPG bulletin*, 90(1), 31-60.
- Luis, J. F., & Miranda, J. M. (2008). Reevaluation of magnetic chrons in the North Atlantic between 35 N and 47 N: Implications for the formation of the Azores Triple Junction and associated plateau. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B10).
- Merle, R., Jourdan, F., & Girardeau, J. (2018). Geochronology of the Tore-Madeira Rise seamounts and surrounding areas: a review. *Australian Journal of Earth Sciences*, 65(5), 591-605.
- Miranda, R., Terrinha, P., Mata, J., Azevedo, M. D. R., Chadwick, J., Lourenço, N., & Moreira, M. (2010). Caracterização geoquímica do monte submarino de Fontanelas, Margem Oeste Ibérica. In X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e XVI Semana de Geoquímica, 28 de Março a 1 de Abril de 2010.
- Neres, M., Bouchez, J. L., Terrinha, P., Font, E., Moreira, M., Miranda, R., ... & Carvalho, C. (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, M., Font, E., Miranda, J. M., Camps, P., Terrinha, P., & Mirão, J. (2012). Reconciling Cretaceous paleomagnetic and marine magnetic data for Iberia: New Iberian paleomagnetic poles. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B6).
- Pereira, R., Alves, T. M., & Mata, J. (2016). Alternating crustal architecture in West Iberia: a review of its significance in the context of NE Atlantic rifting. *Journal of the Geological Society*, 174(3), 522-540.
- Ribeiro, P., Silva, P. F., Moita, P., Kratinova, Z., Marques, F. O., & Henry, B. (2013). Palaeomagnetism in the Sines massif (SW Iberia) revisited: evidences for Late Cretaceous hydrothermal alteration and associated partial remagnetization. *Geophysical Journal International*, 195(1), 176-191



IX Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2019

www.ccvestremoz.uevora.pt

organização



financiamento



APOIOS



ORDEN
DOS
ENGENHEIROS



ESPORÃO



alentejo

Turismo do Alentejo - ERT

