

# Workshop em Ciências da Terra e do Espaço

Livro de Actas  
2019

*Programa Doutoral em Ciências da Terra e do Espaço*

Universidade de Évora



UNIVERSIDADE DE ÉVORA  
INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO  
E FORMAÇÃO AVANÇADA

# **Workshop em Ciências da Terra e do Espaço**

Livro de Actas 2019

**No âmbito da Unidade Curricular de Seminário do**  
*Programa doutoral em Ciências da Terra e do Espaço*  
*e*  
*Mestrado em Ciências da Terra, da Atmosfera e do Espaço*

## **Universidade de Évora**

*Instituto de Investigação e Formação Avançada e Departamento de Física*

*Editores:*  
*José F. Borges*  
*Paula Afonso*  
*Rui Salgado*

Título: Workshop em Ciências da Terra e do Espaço – Livro de Actas 2019

Coordenadores: José F. Borges e Rui Salgado

Editores: José F. Borges, Paula Afonso e Rui Salgado

Julho de 2020

© Universidade de Évora

Rua Romão Ramalho, 59

7000-671 Évora Portugal

ISBN: 978-989-98836-3-5

## Índice

Prefácio	6
Agradecimentos	7
Estimation of photovoltaic energy production in Portugal <i>Afonso Cavaco, Paulo Canhoto, Manuel Collares Pereira</i>	8
Simulação de um Forno de Aquecimento de Biletos <i>Sérgio Cavaleiro Costa, Isabel Malico, Daniel Santos, Miguel Barão, Luís Rato, Paulo Canhoto, Rui Pedro Lima, Sofia Oliveira, Paulo Fontes, Susana Cravo</i>	15
Observação Termométrica em Alqueva entre 2017 e 2018 <i>Ana Carolina da Purificação, Miguel Potes, Rui Salgado</i>	20
Chemical and Mineralogical Composition of Neolithic and Chalcolithic Arrowheads: A Methodological Approach <i>Mafalda Costa, Luís Dias, Leonor Rocha, Jorge Oliveira, Pedro Barrulas, José Mirão</i>	28
Magnetometria na região de Cabeço de Vide – Setor Alter do Chão – Elvas <i>Paula Afonso, José F. Borges, Pedro Nogueira</i>	34
The MINEPLAT PROJECT - A comprehensive work for assessment of the Alentejo continental shelf for minerals and Quaternary environmental changes <i>João Noiva, Carlos Ribeiro, Pedro Terrinha, Pedro Brito, Marta Neres</i>	40
Matéria orgânica em liditos e xistos negros do Silúrico da Zona de Ossa-Morena (Mina dos Mociços – Alandroal) <i>André Carvalho, Sandro Vicente, Paula Afonso, Noel Moreira, Miguel Maia, Pedro Nogueira, Joana Ribeiro, Vanessa Laranjeira, Deolinda Flores</i>	46
Site effect, Amplification and soil characterization of Mitidja basin, Algiers <i>Souhila Chabane, Mourad Bezzeghoud, João Fontiela, Djamel Machain, El-Hadi Oubaiche, Rabah Bensalem</i>	52
Terra; Um Planeta dinâmico: A Estrutura Interna da Terra Modelos didáticos como recurso para a compreensão das Geociências <i>Vânia Silva</i>	61

## Prefácio

Nas últimas décadas, um enorme e crescente interesse público e científico acerca do Sistema Terra desencadeou por toda a parte um enorme esforço no sentido da sua compreensão. Este interesse deriva, não apenas da importância do conhecimento científico, mas também da ideia, cada vez mais consensual, de que o desenvolvimento humano não pode gerar desequilíbrios irreversíveis neste sistema e que o investimento no conhecimento científico no domínio das Ciências da Terra desempenha um papel fundamental.

As Ciências da Terra dizem respeito ao conhecimento do nosso planeta e do espaço vizinho adjacente. O objeto de estudo é, por conseguinte, um sistema de enorme complexidade no seio do qual ocorrem, a diferentes escalas temporais e espaciais, intensas interações entre os subsistemas que o compõem. Assim, compreender a “história” deste sistema e os processos que nele ocorreram, bem como a caracterização atual e a previsão da sua evolução futura, constitui um enorme desafio, para o qual concorre o conhecimento pluridisciplinar e transversal em diversos domínios das Ciências Físicas e Naturais, mas também da capacidade de observação detalhada dos parâmetros relevantes para a caracterização do sistema. Aprofundar o conhecimento do nosso planeta e partir para a compreensão da sua dinâmica e sua evolução futura obriga, também, a um enorme esforço no desenvolvimento tecnológico em domínios como os da deteção remota e *in situ e no* desenvolvimento da modelação computacional.

É neste contexto que surge a quinta edição do Workshop em Ciências da Terra da Atmosfera e do Espaço da Universidade de Évora (WCTAE). Neste livro encontram-se reunidos os artigos de investigação dos estudantes que frequentaram a unidade curricular “Seminário do Programa de Doutoramento em Ciências da Terra e do Espaço (DCTE) e do Mestrado em Ciências e Tecnologia da Terra da Atmosfera e do Espaço (MCTTAE). O livro reflete a investigação dos estudantes já em contexto de tese e o seu esforço para bem comunicar em ambiente científico. Os 9 trabalhos submetidos abrangem diversas temáticas, desde a Geologia, passando pela Física da Atmosfera até à Energia e Ambiente. Esta diversidade temática a que tivemos a oportunidade de assistir no dia 30 de janeiro de 2019, data da realização da 5ª edição do WCTAE, reflete a transversalidade científica inerente à forma atual de encarar a construção do conhecimento acerca do Sistema Terra.

Évora, 8 de Julho de 2020

José Borges, Paula Afonso e Rui Salgado

## **Agradecimentos**

Agradece-se aos docentes das diferentes Unidades do programa Doutoral em Ciências da Terra e do Espaço e do Mestrado em Ciências e Tecnologia da Terra da Atmosfera e do Espaço e a todos os autores dos trabalhos publicados. Um agradecimento especial ao Professor Mourad Bezzeghoud e Professora Maria João Costa, diretores do doutoramento e mestrado, pelo apoio e incentivo. Agradece-se o apoio dos orientadores dos alunos envolvidos nos trabalhos, sem o qual a qualidade dos trabalhos não seria possível de assegurar. Agradece-se também à comissão organizadora do evento, constituída por Paula Afonso, Vânia Silva, Mafalda Costa, Afonso Cavaco, Ana Purificação, Natália Silva, Souhila Chabane, pelo incansável apoio dado à realização do Workshop em Ciências da Terra da Atmosfera e do Espaço.

Finalmente, um Agradecimento especial pelo contributo do Instituto de Investigação e Formação Avançada (IIFA), da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora e do Instituto de Ciências da Terra – Polo de Évora.

## ESTIMATION OF PHOTOVOLTAIC ENERGY PRODUCTION IN PORTUGAL

AFONSO CAVACO

*Renewable Energies Chair, University of Évora, Palácio do Vimioso, Largo Marquês de Marialva,  
Apart. 94, 7002-554  
Évora, Portugal, afonso.cavaco@ipes.pt*

PAULO CANHOTO

*Physics Department and Institute of Earth Sciences, University of Évora, Rua Romão Ramalho 59,  
7002-671  
Évora, Portugal, canhoto@uevora.pt*

MANUEL COLLARES PEREIRA

*Renewable Energies Chair, University of Évora, Palácio do Vimioso, Largo Marquês de Marialva,  
Apart. 94, 7002-554, Évora, Portugal  
Évora, Portugal, collarespereira@uevora.pt*

**Resumo:** A irradiância global horizontal é, tipicamente, a componente da radiação solar mais medida. Contudo, nas fases de projeto e instalação de sistemas de captação de energia solar, estes são instalados com uma certa inclinação de modo a otimizar a intercepção de radiação solar. Tendo isto em consideração, o presente trabalho baseia-se nas medidas de radiação solar efectuadas pela rede de medição do IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera, que consiste em 89 estações de medição ao longo do país. Com base na avaliação da disponibilidade de radiação solar global horizontal, efectuada em publicações anteriores, aplicou-se uma conhecida metodologia de modo a estimar radiação solar global numa superfície inclinada. Uma vez estimada a radiação solar global incidente na superfície com inclinação igual à latitude local, efectuou-se uma estimativa do potencial de produção de energia com recurso a um sistema solar fotovoltaico.

**Abstract:** Global Horizontal Irradiance is the most commonly component of solar radiation to be measured. However, when projecting and installing solar energy systems, those are not installed horizontally but at a certain angle to optimize solar radiation interception. With this in mind, the present work is based on the solar radiation data measured by IPMA's – Portuguese Institute for Sea and Atmosphere network, consisting in 89 measuring stations across the country. With basis on the assessment of Global Horizontal Irradiation availability performed in previous publications, a known methodology was applied in order to estimate the Global Tilted Irradiation for each valid location of the network. Once the Global Tilted Irradiation is estimated for a surface tilted with an angle equal to the local latitude angle, an estimation of the potential solar photovoltaic energy production was performed.

**Key words:** Global Hemispherical Irradiation, Measurements, Global Tilted Irradiation, Solar Photovoltaic.

## 1 Introduction

Typically, Global Horizontal Irradiance (GHI) is the most commonly component of solar irradiance to be measured since only a pyranometer and a data acquisition system are needed, making the system less expensive than those necessary to measure Diffuse Horizontal Irradiance (DHI) and Direct Normal Irradiance (DNI), requiring continuous tracking of the sun's apparent motion or several seasonal shadow band adjustments for standalone DHI measurement. In Portugal, there is an initiative from IPMA – Portuguese Institute for Sea and Atmosphere with a network of 89 locations measuring GHI across Continental Portugal for meteorological purposes [1] [2]. There is also an initiative from the University of Évora, in cooperation with several other entities, with 13 stations to measure DNI for solar concentration applications [3], the stations in this network typically also measure GHI and DHI.

These initiatives are important in order to create large and statistically significant datasets for purposes such as research and solar energy applications. When discussing statistical significance, Researchers propose different periods for solar radiation analysis which range from six to thirty years of data [4]. This kind of assessment is usually based on the supposition that the long-term average annual solar radiation from the past can provide an accurate estimation, without significant variability, for the availability of solar resources in the future [5] [6]. Discrepancies resulting from this assumption are often not considered or considered to be negligible in comparison to other uncertainties [7].

When analyzing solar radiation datasets, it is usual to find data gaps and thus it is necessary to apply a data gap filling procedure. There are several proposed procedures for the gap filling such as filling the missing days with the mean values of the available days of the same month, which may result in inaccurate estimates, depending on the number of missing days [9]. Other methods consist on a linear interpolation for gaps up to three hours, filling the gap with data for the same period from past years or correlation with data from a neighboring station.

This study takes into consideration the work previously developed in [1] [2] and presents the application of a well-known method [10] [11], to obtain the Global Tilted Irradiation (GTI) for a flat surface with a tilt angle equal to the latitude in order to optimize the annual intersection of solar radiation on that surface and estimate the energy production of a typical photovoltaic module. Usually, for an estimation of this kind to be accurate one should, at least, use hourly solar radiation data and hourly average air temperature in order to simulate the hourly photovoltaic energy production, taking into consideration the thermal effect on the reduction of photovoltaic energy production. Nevertheless, it is possible estimate the GTI with basis on Hemispherical Insolation values and still perform a rough estimation of the energy produced by a typical solar photovoltaic panel [10] [11].

## 2 Experimental Data and Data Quality

The data analyzed in this study results from studies previously performed with data from IPMA's network [1] [2]. These studies yielded as results monthly and yearly average

values of GHI for continental Portugal, which will be used in the method described in Section 3.

The data from IPMA's network is recorded with secondary standard pyranometers according to ISO specifications, which are considered the best quality instruments for this purpose [1] [2].

Regarding data quality, the concerns are the same as stated in previous studies, the authors do not have accurate information about the actual proper operation of the instruments, thus the measurements could be affected by problems such as lack of calibration or malfunction and possible data acquisition failures [1] [2]. An attempt of performing a quality check on the data was performed for Évora, comparing a station from IPMA's network with one station from the University of Évora whose operation and maintenance is known to be good [1] [2]. The comparative data analysis performed for Évora, considering a well-maintained station from the University of Évora and a station from IPMA's network showed a good data correlation with an  $R_2=0.98$  and  $m=1.0067$ , therefore it is assumed the quality of data measured by IPMA's stations is acceptable [1] [2].

### 3 Methodology

In order to obtain reliable GHI estimations, in the previous studies a quality data analysis and gap filling procedure was performed over IPMA's data, from which the average monthly GHI availability values used in this study were obtained [1] [2].

Then, a well-known methodology was used in order to estimate GTI on surfaces tilted to the local latitude angle, in order to optimize the annual solar radiation interception and consequently the photovoltaic energy production [10]. The methodology applied consisted in the determination of:

1. The average GHI monthly availability (kWh/m<sup>2</sup>) values obtained in [1] [2] were divided by the number of days of each month and converted from kWh/m<sup>2</sup> to MJ/m<sup>2</sup> in order to obtain the monthly daily mean hemispherical insolation ( $\bar{H}_h$ ).
2. Extraterrestrial radiation,  $H_0$ , was determined for the central day of each month [10]:

$$H_0 = \frac{T}{\pi} I_{o,n} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{2\pi n}{365.25} \right) \right] \cos \lambda \cos \delta (\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s) \quad (1)$$

with  $T$ = length of day in seconds;  $I_{o,n}=1366\text{W/m}^2$  = solar constant;  $n$ = Julian day;  $\lambda$ =geographic latitude;  $\omega_s=\arccos[-\tan \lambda \tan \delta]$  = sunset hour angle and  $\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360}{365} (284 + n) \right]$  = solar declination [10]

3. Clearness Index [10]:

$$\bar{K}_h = \frac{\bar{H}_h}{H_0} \quad (2)$$

4. Monthly average daily diffuse insolation ( $\bar{H}_d$ ) on an horizontal surface [10]:

$$\bar{H}_d = \bar{H}_h \left[ 0.775 + 0.347 \left( \omega_s - \frac{\pi}{2} \right) - \left[ 0.505 + 0.261 \left( \omega_s - \frac{\pi}{2} \right) \cos[2(\bar{K}_h - 0.9)] \right] \right] \quad (3)$$

5. Monthly average daily insolation collected by a surface tilted at the local latitude angle ( $\bar{H}_{col}$ ) [11]:

$$\bar{H}_{col} = \bar{H}_h \left( R_h - R_d \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}_h} \right) \quad (4)$$

Being  $R_h$  [11]:

$$R_h = \frac{1}{d} \left\{ \left( \frac{1}{\cos \phi} + \frac{1}{2} \rho (1 - \cos \beta) \right) \left( a \sin \omega_c + \frac{b}{2} (\sin \omega_c \cos \omega_c + \omega_c) \right) - \frac{1}{2} \rho (1 - \cos \beta) \cos \omega_s (a \omega_c + b \sin \omega_c) \right\} \quad (5)$$

With  $d = \sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s$ ;  $a=0.409+0.5016 \sin(\omega_s-1.047)$ ;  $b=0.6609-0.4767 \sin(\omega_s-1.047)$ ;  $\omega_c = \min\left(\omega_s, \frac{\pi}{2}\right)$ =sunrise and sunset hour angle;  $\rho$ =ground albedo [11]

And  $R_d$  [11]:

$$R_d = \frac{1}{d} \left\{ \left( \frac{1}{\cos \phi} - \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \right) \sin \omega_c + \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \omega_c \cos \omega_s \right\} \quad (6)$$

## 4 Results

With the results obtained from the described methodology, the monthly averages of daily insolation collected by a flat surface tilted with an angle equal to the local latitude were processed in order to obtain the annual average GTI availability for each valid location of the network. With these results, it is possible to create a map of yearly average GTI availability in Portugal (Figure 1.a).

The GTI yearly average availability shows a similar pattern as that of the GHI yearly average availability obtained in [1] [2], GTI availability tends to be higher on the South mainly due to the number of hours of sun available in the Southern region of Portugal, it also increases from West to East, especially in the North and Center zones most probably due to the frequent formation of fogs in seaside (because of earth-sea interactions) [1] [2]. The GTI availability ranges from 1638 kWh/m<sup>2</sup>/year to 2251 kWh/m<sup>2</sup>/year.

Figure 1.b shows the estimated photovoltaic production yielded by a chosen module, in this case the OPEN 2XX-PM60 G2 from Open Renewables, a Portuguese manufacturer, with an efficiency of 16.4% and an area of 1.64m<sup>2</sup> [12]. A Performance Ratio (PR) was applied, using a typical value of 85%, considering 15% losses of the system due to cable losses, conversion losses, soiling on the photovoltaic module and heat losses. The average annual energy production estimated by a single photovoltaic module, with the referred considerations, ranges from 374 kWh to 514 kWh.

For an accurate estimation of the photovoltaic energy production, the data computation should be performed on an hourly basis, or less, using solar radiation and mean air temperature data as inputs, however the mean air temperature data was not available at the time and therefore the referred methodology in section 3 was applied in order to obtain rough estimations.

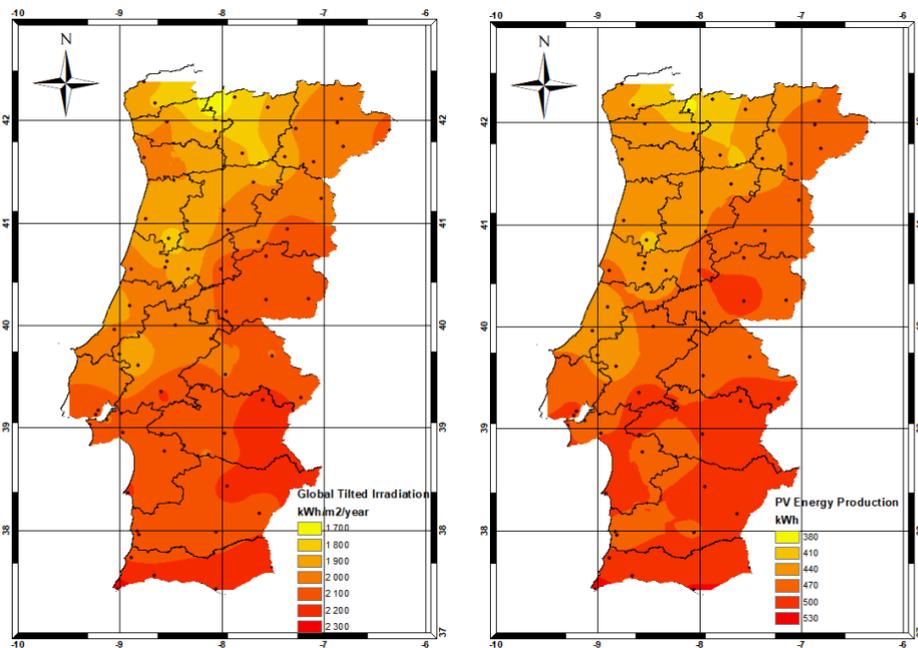


Figure 1.a. Average GTI annual availability for a tilt angle equal to the local latitude angle (kWh/m<sup>2</sup>/year).

Figure 1.b. Average annual energy production by the chosen photovoltaic module

## 5 Conclusions

With basis on the GHI availability obtained in previous works [1] [2] it was possible to obtain a rough estimation of the yearly GTI average availability in Portugal, for surfaces with a tilt angle equal to the local latitude angle, optimizing yearly solar radiation interception.

For this study, taking into consideration the available data, the main objective was to perform a rough estimation of GTI in Portugal and a rough estimation of a PV module energy production. In the future a more accurate simulation and analysis will be performed. In that future work, the conversion from GHI to GTI should be performed on an hourly basis in order to be used as an input as well as the average air temperature for a thorough photovoltaic simulation. Once the average air temperature is accessible the authors, will perform a thorough simulation in order to obtain a more accurate photovoltaic energy production with basis on hourly GTI and hourly average air temperature values. The presented work will serve for comparing the estimation of GTI yearly average values and PV yearly average energy production with a future and more accurate model.

## References

1. Cavaco, A., Silva, H. G., Canhoto, P., Neves, S., Neto, J. & Collares Pereira, M. (2016). Radiação Solar Global em Portugal e a sua variabilidade, Technical Report.
2. Cavaco, A., Silva, H. G., Canhoto, P., Neves, S., Neto, J. & Collares Pereira, M. (2016). Annual Average Value of Solar Radiation and its Variability in Portugal. WES 2016 - Workshop on Earth Sciences
3. Cavaco, A., Silva, H. G., Canhoto, P., Osório, T., & Collares Pereira, M. (2018). Progresses in DNI Measurements in Southern Portugal. AIP Conference Proceedings 2033, 190004 (2018); doi: 10.1063/1.5067189
4. Stoffel, T., Renné, D., Myers, D., Wilcox, S., Sengupta, M., George, R. & Turchi, C., (2010). "Concentrating Solar Power: Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data (CSP)", Technical Report NREL/TP-550-47465 September 2010
5. Gueymard, C.A., Wilcox, S.M., "Assessment of spatial and temporal variability in the US solar resource from radiometric measurements and predictions from models using ground-based or satellite data". Sol. Energy 85 (5), 2010, 1068–1084.
6. Vignola, F., et al., "Building a bankable solar radiation dataset". Sol. Energy 86 (8), 2012, 2218–2229.
7. Thevenard, D., Pelland, S., "Estimating the uncertainty in long-term photovoltaic yield predictions". Sol. Energy 91, 2013, 432 – 445.
8. Moreno-Tejera, S., et al, "Solar resource assessment in Seville, Spain. Statistical characterisation of solar radiation at different time resolutions", Solar Energy, Volume 132, July 2016, Pages 430-441
9. Schwandt, M., et al." Development and test of gap filling procedures for solar radiation data of the Indian SRRM measurement network". Energy Procedia 57, 2014, 1100–1109.
10. Collares Pereira, M. & Rabl, A. (1979), The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values, Solar Energy Vol. 22, pp. 155-164
11. Collares Pereira, M. & Carvalho, M.J. (1990), Dimensionamento de sistemas solares – Sistemas de Aquecimento de Água com armazenamento acoplado.

12. Open Renewables, “OPEN 2XX-PM60 G2 datasheet”, <http://www.openrenewables.com/wp-content/uploads/2018/03/Open-2XX-PM60-PT-v2.00.pdf>, (accessed January 4<sup>th</sup>, 2019).

# SIMULAÇÃO DE UM FORNO DE AQUECIMENTO DE BILETES

## *SIMULATION OF A BILLET HEATING FURNACE*

SÉRGIO CAVALEIRO COSTA, ISABEL MALICO, DANIEL SANTOS, MIGUEL BARÃO,  
LUÍS RATO, PAULO CANHOTO

*Departamento de Física, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, Évora, Portugal, sergiocavaleirocosta@gmail.com*

RUI PEDRO LIMA, SOFIA OLIVEIRA

*CCenergia – Auditoria e Consultoria Energética, Rua Pedro Nunes, nº13A, Sto. António dos Cavaleiros, Portugal, pedro.lima@ccenergia.com*

PAULO FONTES, SUSANA CRAVO

*Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Instituto Politécnico de Setúbal, Campus do IPS, Estefanilha, 2910-761 Setúbal, paulo.fontes@estsetubal.ips.pt*

**Resumo:** Neste trabalho apresenta-se uma metodologia desenvolvida no âmbito do projeto “Audit Furnace” para apoiar a indústria transformadora na compreensão das eficiências encontradas nos seus fornos bem como na identificação de estratégias de melhoria contínua dos seus processos. Aliando auditorias feitas a várias unidades industriais com a modelação de mecânica de fluidos computacional, procura-se obter uma representação digital por forma a apoiar o desenvolvimento, calibração e treino de um modelo de ordem reduzida. Este será suportado por modelos de aprendizagem no sentido de se ganhar maior flexibilidade do modelo na sua adaptação a diferentes fornos. No artigo apresentam-se resultados da modelação de mecânica de fluidos computacional de um forno de aquecimento de biletos. Essa modelação é um primeiro passo essencial na metodologia proposta e gerador de resultados que alimentam o modelo de aprendizagem.

**Palavras-chave:** Eficiência energética; Fornos industriais; Modelos de ordem reduzida; CFD; Modelos de aprendizagem

**Abstract:** This work presents a methodology developed in the context of the “Audit Furnace” project to support the manufacturing industry in understanding the energy efficiencies of its furnaces and to identify strategies for the continuous improvement of their processes. Integrating energy audit performed at several industrial units with simulations based on computational fluid dynamics, a digital representation to support the development, calibration and training of a reduced-order model is sought, with the help of machine learning models that provide more flexibility to the model in its adaptation to different furnaces. This paper presents computational fluid dynamics simulations of a billet heating furnace. This modeling is a first, essential step of the proposed methodology that generates results that will feed the machine learning model.

**Key words:** Energy efficiency; Industrial furnaces; Reduced-order models; CFD; Machine learning

## 1 Introdução

A auditoria energética constitui uma oportunidade para as empresas otimizarem os seus consumos energéticos, melhorando a sua competitividade. Esta atividade que consiste na realização de medições e na aplicação de formulações termodinâmicas de modo a caracterizar os balanços energéticos e mássicos, permite avaliar o desempenho energético de sistemas industriais.

No projeto “Audit Furnace” direcionado para a avaliação de fornos industriais, pretende-se aprofundar a abordagem técnico-científica das auditorias energéticas através da investigação e desenvolvimento de um modelo físico-matemático de simulação inteligente, modelo de ordem reduzida (MOR), incorporado numa ferramenta informática acessível via *web* que permita uma análise expedita dos processos de combustão, mecânica de fluidos e transferência de calor, assim como a análise do impacto de uma ou mais medidas de melhoria da eficiência energética.

Visando a criação de uma ferramenta suficientemente ampla e com grau de precisão elevado, o MOR será afinado na adaptação a geometrias diferenciadas de fornos e na modelação física dos diferentes processos, recorrendo a dados de medições em ambiente real e simulações detalhadas de Mecânica de Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics* – CFD) para casos de teste selecionados. Com recurso a modelos matemáticos de aprendizagem, o MOR será validado com recurso ao treino dos desvios dos resultados e o ajuste de parâmetros relevantes.

Este artigo ilustra a metodologia desenvolvida no âmbito do projeto “Audit Furnace”, apresentando resultados preliminares para um forno industrial para aquecimento de billetes.

## 2 Metodologia

No modelo de CFD, o forno é simulado em detalhe através da resolução das equações diferenciais de conservação de massa, quantidade de movimento linear, energia e massa de espécies químicas. Utiliza-se para isso uma malha computacional onde são discretizadas as equações de conservação através do método dos volumes finitos. O modelo considera ainda a equação de transferência de energia radiativa, resolvendo-a através do método das ordenadas discretas. A turbulência é modelada através do modelo  $k-\varepsilon$  e a combustão através do modelo FR-EDM (*finite rate-eddy dissipation model*). As simulações numéricas foram realizadas recorrendo ao *software* comercial Ansys Fluent – v19.

Dada a complexidade dos modelos CFD e porque estes carecem de um elevado esforço computacional, a utilização de MOR permite obter ferramentas mais expeditas no contexto de auditorias energéticas. Apesar de não contemplarem toda a complexidade envolvida, MOR são mais simples e apresentam menor esforço computacional. Estes modelos baseiam-se na divisão do forno em diferentes zonas e na modelação dos processos de combustão, mecânica de fluidos e transferência de calor que ocorrem no seu interior, assim como na imposição de balanços de energia e massa a cada zona e aos elementos constituintes do forno. O processo de combustão é modelado considerando a queima completa do combustível num único passo, sendo obtida a libertação de energia no forno e a composição e a temperatura dos gases resultantes de acordo com a estequiometria da reação e com o excesso de ar, considerando a dependência das propriedades dos gases com

a temperatura. A transferência de calor por convecção é modelada com recurso a correlações existentes na literatura (geometrias simples), enquanto que a transferência de calor por radiação térmica no interior do forno será modelada através de um modelo simplificado baseado no método das zonas. A solução do sistema de equações não lineares resultante permite obter as temperaturas médias (gases de combustão e biletos), caudais e energia transferida em cada zona, em função das condições de funcionamento do forno.

Por outro lado, os **modelos baseados em técnicas de aprendizagem automática** como as redes neuronais permitem complementar e melhorar a precisão dos resultados dos MOR, com modelos potencialmente não-lineares e com a potencialidade para compensar interferências como a variação de geometria, e/ou condições de funcionamento.

Paralelamente foi desenvolvido um **modelo físico simplificado** de modelação e simulação de fornos que permitirá determinar os fluxos globais de calor para o material a aquecer e as perdas de calor do forno. O modelo será integrado com os modelos dos processos de transferência de calor e combustão a desenvolver para o MOR, o que permitirá aumentar a precisão do modelo final pois complementar a informação dos modelos teóricos com dados do modelo empírico obtidos em condições reais de funcionamento.

### 3 Forno estudado

O forno linear a gás propano, alvo de análise, efetua o aquecimento de peças metálicas designadas por biletos (peças com composição variável em formato de barra que são produzidas num forno de fusão) a uma temperatura de aproximadamente 700°C, preparando-as para o processo de extrusão posterior.

Integra 2 módulos principais de aquecimento: módulo de pré-aquecimento dos biletos e zona de queima (dividida em 9 zonas). À entrada, os biletos sofrem um pré-aquecimento provocado pelos gases de combustão que são enviados para o exterior (em contracorrente com o circuito dos biletos). Este caudal é variável por modelação de um registo controlado pela medição de pressão na zona 7 de forma a manter uma pressão interna negativa. Esta insuflação direta dos gases de combustão ocorre após uma permuta de calor com o ar de alimentação aos queimadores. Antes da zona de queima e após a zona de permuta com o ar de alimentação aos queimadores existe um corpo do forno onde também é efetuado o pré-aquecimento dos biletos com os subprodutos da combustão (com teor energético mais elevado). Os gases que efetuam este aquecimento são provenientes da câmara de combustão das diferentes zonas do forno, aspirados por uma conduta longitudinal ao forno pela parte inferior ao mecanismo de transporte dos biletos.

A zona de queima é composta por 9 zonas independentes com espaçamento variável entre si onde o aquecimento é efetuado de forma gradual (com recurso a 312 queimadores). A temperatura de cada zona é controlada automaticamente em função do *setpoint* ajustado manualmente numa das zonas (função do material a ser aquecido). Os gases de exaustão são retirados do forno por ação de um ventilador e expelidos por uma chaminé.

#### 3.1 Modelação CFD

Na perspetiva de modelação CFD considera-se toda a zona do forno que se encontra após a primeira zona de recuperação de calor para o bilete. Até ao momento efetuaram-se três

simulações para diferentes condições de operação, nomeadamente de caudal dos injetores e de excesso de ar. A malha computacional utilizada garante um compromisso entre tempo computacional e precisão dos resultados, apresentando um número total de 8,9 milhões de volumes. Para ilustrar os resultados gerados, a Figura 1 apresenta o campo de temperaturas ao longo de uma secção longitudinal do forno. Como o bilette não é modelado, devido aos recursos computacionais disponíveis, mas impõe-se uma função linear de temperatura, por troços e respeitando a medição de temperatura efetuada para o ponto de funcionamento usado no caso da validação. A zona do bilette não apresenta resultados (a branco na figura).



Figura 1. Campo de temperatura para o forno de aquecimento de billetes a operar com um excesso de ar de 1,8

Podem-se identificar pontos quentes no fim do forno devido à combustão.

Para a validação do modelo, usaram-se medições de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e temperatura no segundo pré-aquecimento bem como a temperatura dos gases de escape na admissão ao permutador de fluxos cruzados. As medições das espécies químicas foram usadas para determinar o excesso de ar a impor na simulação. Verificou-se que as temperaturas simuladas se desviam das medições (cerca de 24%). Na realidade, o forno está em depressão pelo que, por fuga, existe ar a entrar no forno o que poderá explicar a divergência entre os resultados medidos e simulados. A extensão da zona modelada (25 m) aliada à grande superfície de parede levaram a que o número de volumes necessários para a modelação tomasse proporções elevadas resultando num custo computacional acrescido (cerca de 720 h por simulação).

#### 4 Trabalho futuro

O modelo físico simplificado foi aplicado ao forno permitindo determinar os balanços globais de energia para diferentes condições de funcionamento, o que permitirá, na fase seguinte do estudo, a comparação com os resultados do MOR e da modelação CFD.

O MOR, em consequência das simplificações assumidas, necessita ainda de ser calibrado de modo a melhorar tanto quanto possível a modelação dos processos de transferência no forno, sem comprometer o baixo custo computacional. Nomeadamente, será necessário afinar as correlações que descrevem os processos de transferência de calor por convecção, e será estudada uma forma de modelar com um pouco mais de detalhe a temperatura da superfície do bilette e a transferência de calor no seu interior, o que, sendo o bilette a peça a processar, é essencial para a determinação da eficiência do forno.

Serão ainda estudados os MOR num conjunto variado de condições de funcionamento e, os seus resultados, usados para o treino de redes neuronais que serão posteriormente comparados com os resultados de CFD e experimentais de modo a avaliar os diferentes compromissos entre a precisão da modelação e o peso computacional necessário.

### **Agradecimentos**

Este trabalho enquadra-se no projeto desenvolvido no âmbito do Sistema de Incentivos à I&D Empresarial com financiamento da União Europeia no âmbito do programa Alentejo 2020, Portugal 2020 (Contrato n.º: 2017/017980).

# OBSERVAÇÃO TERMOMÉTRICA EM ALQUEVA ENTRE 2017 E 2018

## *THERMOMETRIC OBSERVATION IN ALQUEVA BETWEEN 2017 AND 2018*

ANA CAROLINA DA PURIFICAÇÃO

*Universidade de Évora, Departamento de Física, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal, m40949@alunos.uevora.pt*

MIGUEL POTES

*Instituto de Ciências da Terra (ICT), Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal, mpotes@uevora.pt*

RUI SALGADO

*Instituto de Ciências da Terra (ICT), Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal, rsal@uevora.pt*

**Resumo:** Neste trabalho pretende-se tratar e analisar os dados das temperaturas que foram recolhidos nas estações meteorológicas instaladas em Alqueva, sobre o reservatório e nas suas margens no ano hidrológico entre setembro de 2017 e agosto de 2018. Estas estações fazem parte da rede de projeto ALOP (Alentejo: sistemas de Observação e Previsão). Pretende-se, também, observar a interação Atmosfera-Lago a partir das temperaturas do ar e da água na estação instalada numa plataforma flutuante sobre o lago. Com os resultados obtidos verifica-se que no ano hidrológico em estudo ocorreram recordes nas temperaturas mínimas e máximas.

**Palavras-chave:** Meteorologia, Alqueva, base de dados, observações das temperaturas, interação lago-atmosfera

**Abstract:** In this work we treat and analyze data-series of temperatures collected in meteorological stations installed in Alqueva, on the reservoir and in its shores in the hydrological year between September 2017 and August 2018. These weather stations belong to the ALOP (Alentejo: Observation and forecasting systems) project network. It is also intended to observe the Atmosphere-Lake interaction from the air and water temperatures in a weather station located in a floating platform over the lake. The obtained results showed that the hydrological year under study present records in the minimum and maximum temperatures.

**Keywords:** Meteorology, Alqueva, database, temperature observations, lake-atmosphere interaction.

## 1 Introdução

A temperatura é uma das variáveis meteorológicas mais importantes, desempenhando um papel fundamental no ciclo global de energia. Esta variável é uma das grandezas física que determinam o estado de um sistema termodinâmico. Poderá ser entendida como uma medida do grau de agitação das moléculas que compõem uma região. Quanto maior a agitação molecular, maior vai ser a temperatura do local e mais quente ele estará.

A albufeira de Alqueva, resultante da construção da barragem cujas comportas fecharam em 2002, alterou significativamente a paisagem da região e tem tido impactos no clima local que ainda estão pouco conhecidos e estudados. A albufeira é uma barragem situada no rio Guadiana, sendo um dos maiores lagos artificiais da Europa Ocidental com uma área de cerca de 250 quilómetros quadrados situado na região do Alentejo. É um grande laboratório natural para o estudo da interação dos lagos com a atmosfera e está a ser objeto de estudo no projeto ALOP “ALentejo: sistemas de Observação e Previsão”

Anteriormente já foi estudado por Potes et al. (2017) e por Iakunin et al. (2018) a interação de Lago-Atmosfera em Alqueva e o efeito de brisas no lago artificial.

No âmbito do ALOP estão a ser recolhidos um vasto conjunto de dados que permitem, entre outros aspetos, caracterizar melhor o estado do tempo na região e os efeitos de Alqueva na atmosfera. Pretendendo-se, assim, analisar os dados das temperaturas que estão a ser recolhidos nas estações meteorológicas de Alqueva no ano hidrológico. Depois de tratadas e reconstruídas, as séries temporais irão permitir caracterizar a evolução local do estado do tempo da região durante este período.

## 2 Metodologia

Os dados da temperatura foram registados no âmbito do projecto ALOP sob a forma de série temporais de minuto a minuto durante o ano hidrológico. Essas medições foram fornecidas pelo ALOP sob ficheiros ASCII e tratados com recurso ao programa *MATLAB R2014b* para efetuar cálculos de Média, Mínima e Máxima dos dados. Posteriormente os resultados foram comparados à Normal Climatológica 1981-2010 de Beja para que pudéssemos observar diferenças dos dados da temperatura na atmosfera.

## 3 Resultados/Discussão

### 3.1 Temperaturas Mensais do ar

As médias e os extremos mensais da temperatura do ar durante o ano hidrológico estão representados na tabela 1. Para este estudo, foi necessário fazer cálculos de médias dos registos minuto a minuto de cada mês e descobrir as temperaturas mínimas e máximas das estações meteorológicas em Alqueva, neste caso, das estações de *Barbosa*, *Montante* e *Cid-Almeida*. Com os resultados estruturados, poderemos ver que há uma pequena amplitude térmica entre as três estações, com média de 1°C.

Os meses de Outono de 2017 (Setembro, Outubro e Novembro) apresentam uma temperatura média normal para essa época com valores entre os 13.43°C e os 22.72°C, valores de acordo com a Normal Climatológica 1981-2010 de Beja (IPMA, 2018f), 13.4°C e 21.9°C, em Novembro e Setembro respetivamente. De salientar nestes meses a

temperatura mínima em Outubro que entre *Montante* e *CidAlmeida* variou 4.68°C sendo a mínima em *CidAlmeida* 7.56°C mais elevada que a normal 81-10 de Beja para o mesmo mês. Nos meses de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), a temperatura média variou entre os 9°C e os 11°C, com temperaturas máximas a não ultrapassarem dos 20°C com destaque para a temperatura mínima em Dezembro e Fevereiro com valores de -1.63°C e -1.75°C respetivamente na estação de *CidAlmeida* valores estes inferiores à normal 81-10 de Beja.

Nos meses de Primavera (Março, Abril e Maio) verificou-se que o Março não teve grande diferença para os meses de Inverno, com temperaturas médias abaixo da referida normal de Beja, destacando-se os 11.55°C em *CidAlmeida*. Em Abril e Maio os valores da temperatura média aproximam-se da normal ainda assim a temperatura mínima em *CidAlmeida* em Maio (4.34°C) foi inferior à normal.

Segundo o IPMA, o Verão foi classificado como extremamente quente em relação à temperatura do ar. No entanto, o mês de Julho foi anormalmente menos quente com a temperatura média a ficar a cerca de 1°C da normal nas três estações e com as temperaturas máximas a ficarem a cerca de 10°C da normal de Beja. O mês de Agosto foi extremamente quente com as temperaturas médias e máximas a bateram recordes absolutamente impressionantes com valores da temperatura média em *Barbosa* superiores a 3°C em relação à média e com o termómetro a chegar aos 46.23°C em *Barbosa* (sendo o recorde de temperatura para Beja de 46.0°C no mês de Agosto).

Reparamos que a temperatura média é semelhante nas três estações, no entanto a *montante* de Alqueva é sempre mais alta exceto no Verão devido à água do lago demorar mais tempo a aquecer que a atmosfera.

Outro facto é que a temperatura mínima é quase sempre superior a *Montante* de Alqueva excepto em Junho porque na Primavera choveu imenso e fez com que o lago ainda estivesse mais frio que na Atmosfera. É visível que no Inverno haja uma diferença de 5°C e de 4°C em Outubro entre *Montante* e *CidAlmeida* e entre *Montante* e *Barbosa*, respetivamente porque o lago demorou mais tempo a arrefecer que a atmosfera. Confirma-se também outras diferenças de 4°C nas mesmas estações em Dezembro e em Fevereiro. Nas máximas é sempre mais baixa a *Montante* excepto em Dezembro porque a temperatura ainda estava mais alta que na atmosfera devido ao lento arrefecimento do ambiente. A maior diferença de temperatura é no mês de Agosto com 4°C.

Tabela 1- Temperaturas médias, mínimas e máximas das estações meteorológicas de Alqueva no ano hidrológico.

Meses	Média (°C)			Mínima (°C)			Máxima (°C)		
	<i>Barbosa</i>	<i>Montante</i>	<i>CidAlmeida</i>	<i>Barbosa</i>	<i>Montante</i>	<i>CidAlmeida</i>	<i>Barbosa</i>	<i>Montante</i>	<i>CidAlmeida</i>
Set. 2017	22.72	22.63	22.42	10.31	12.26	10.85	37.14	34.20	36.95
Out. 2017	21.5	21.70	20.44	9.55	13.06	8.38	35.34	33.51	35.21
Nov. 2017	14.07	14.72	13.43	4.53	6.58	2.48	23.54	22.76	24.10
Dez. 2017	10.04	10.94	9.35	0.04	3.54	-1.63	18.07	18.77	18.13
Jan. 2018	9.58	10.22	9.38	1.35	3.13	1.00	18.22	17.90	18.20
Fev. 2018	9.53	9.97	9.17	0.48	3.27	-1.75	19.85	18.45	19.91
Mar. 2018	11.68	12.05	11.55	3.72	5.45	1.08	23.77	22.95	22.44
Abr. 2018	14.09	14.37	13.82	5.14	6.00	3.61	28.50	27.89	27.42
Mai. 2018	17.05	18.32	16.82	6.11	9.10	4.34	30.43	29.38	29.37
Jun. 2018	21.27	22.48	21.13	10.12	9.14	11.24	39.38	36.56	38.48
Jul. 2018	22.98	22.76	22.94	13.90	15.53	14.13	35.24	33.26	35.80
Ago. 2018	27.52	26.83	26.81	14.14	15.60	13.80	46.23	42.47	44.60

Podemos analisar os dados das temperaturas mensais sob a forma de gráfico para conseguir perceber melhor qual foi a sua evolução nas 3 estações de Alqueva entre setembro de 2017 e agosto de 2018.

Ao observar os gráficos, repara-se que as três estações meteorológicas de Alqueva apresentam uma evolução idêntica ao longo do período em estudo, no entanto em *CidAlmeida* há anomalias térmicas mais altas que nas outras estações, tanto nas temperaturas mínimas como nas temperaturas máximas. A *Montante*, mostra que há temperaturas mínimas do ar mais altas e as temperaturas máximas do ar mais baixas que nas outras duas estações.

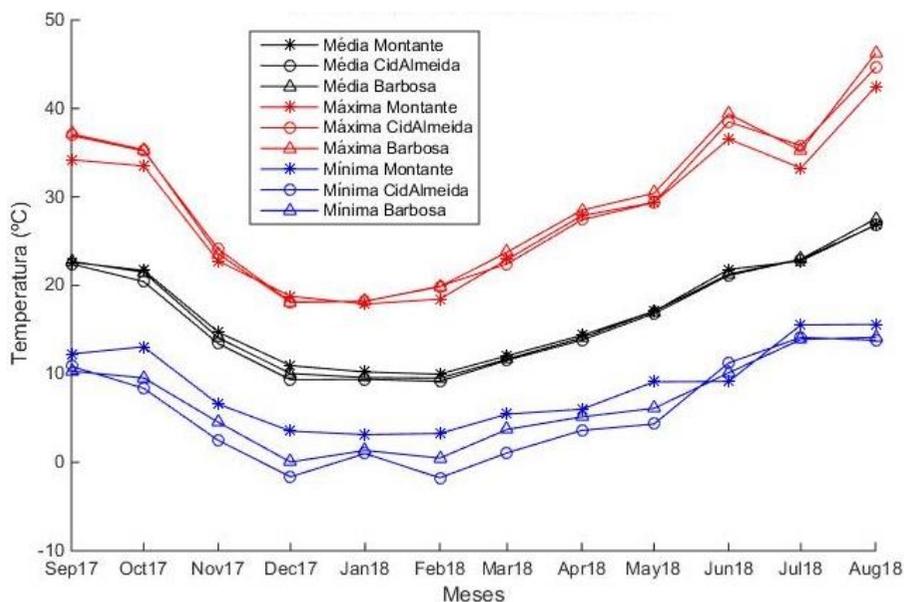


Figura 1 – Temperaturas mensais das estações no ano hidrológico.

Na Tabela 2 são apresentadas as médias mensais da temperatura média do ar para Alqueva (médias das três estações) no período de estudo e para Beja no período 1981-2010 segundo a Normal Climatológica (IPMA, 2018f).

Tabela 2 – Média das Temperaturas médias diárias em Alqueva com a Normal Climatológica 1981-2010 em Beja. Fonte: IPMA, I.P

		Meses											
Médias (°C)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
<b>Beja</b>	9.7	10.8	13.4	14.6	17.7	22	24.6	24.8	22.4	18.2	13.6	10.7	
<b>Alqueva</b>	9.7	9.6	11.8	14.0	17.4	21.4	22.9	27.0	22.6	21.2	14.1	10.1	

Dum modo geral, a normal de referência 1981-2010 em Beja apresentam médias mais altas que as médias em Alqueva, exceto entre Agosto e Novembro. O mês de Fevereiro foi o mais frio do Inverno com média de 9.6°C, com uma diferença de 1.2°C com a normal climatológica.

A Primavera uma época normal de acordo com as suas médias, no entanto o Verão começou com temperaturas inferiores ao valor normal, destacando-se no Alqueva com médias de 21.4°C em Junho e 23°C em Julho. Ao contrário de Agosto a Novembro houve temperaturas superiores ao valor normal, com diferença de 2.2°C em Agosto, ou seja, o Outono foi uma época mais quente que ao habitual.

### 3.2 Interação Atmosfera-Lago

Neste estudo também era importante observar do impacto do lago artificial para que pudéssemos compreender melhor o estado do tempo na região e em particular qual a relação entre a temperatura do ar e da água. Deste modo, para estudar a sua interação foram comparadas as temperaturas da água superficial (aos cinco centímetros de profundidade) e a do ar (ao 1.5 m) registados na estação Alqueva- *Montante* minuto a minuto, tendo-se calculado as médias mensais. A tabela 3 comprova os resultados da relação entre a atmosfera e o lago.

Tabela 3 – Temperaturas mensais da Atmosfera e do Lago no ano Hidrológico.

Meses	Média(°C)		
	Atmosfera	Lago	Diferença
Set. 2017	22.63	23.72	1.09
Out. 2017	21.70	22.06	0.36
Nov. 2017	14.72	17.85	3.13
Dez. 2017	10.94	14.59	3.65
Jan. 2018	10.22	12.75	2.53
Fev. 2018	9.97	11.90	1.93
Mar. 2018	12.05	12.48	0.43
Abr. 2018	14.37	15.65	1.28
Mai 2018	18.32	17.36	0.96
Jun. 2018	22.48	22.83	0.35
Jul. 2018	22.76	24.90	2.14
Ago. 2018	26.83	26.89	0.06

O estudo vem comprovar que há uma relação entre as temperaturas do ar e as temperaturas da água do lago resultante da interação Atmosfera-Lago. Segundo a tabela acima, podemos reparar que existe uma pequena diferença térmica entre os dois ambientes durante todo o ano hidrológico com as temperaturas médias do ar sempre inferiores às temperaturas médias da água devido às diferentes capacidades térmicas mássicas dos dois meios (diferentes calores específicos entre os dois meios). A maior diferença de temperaturas entre os dois ambientes é no mês de Dezembro com um valor de 3.65°C resultante do rápido arrefecimento atmosférico e do mais “lento” arrefecimento do lago.

Na figura seguinte (figura 2) está representada o gráfico da evolução mensal da temperatura do ar e da água durante o ano hidrológico.

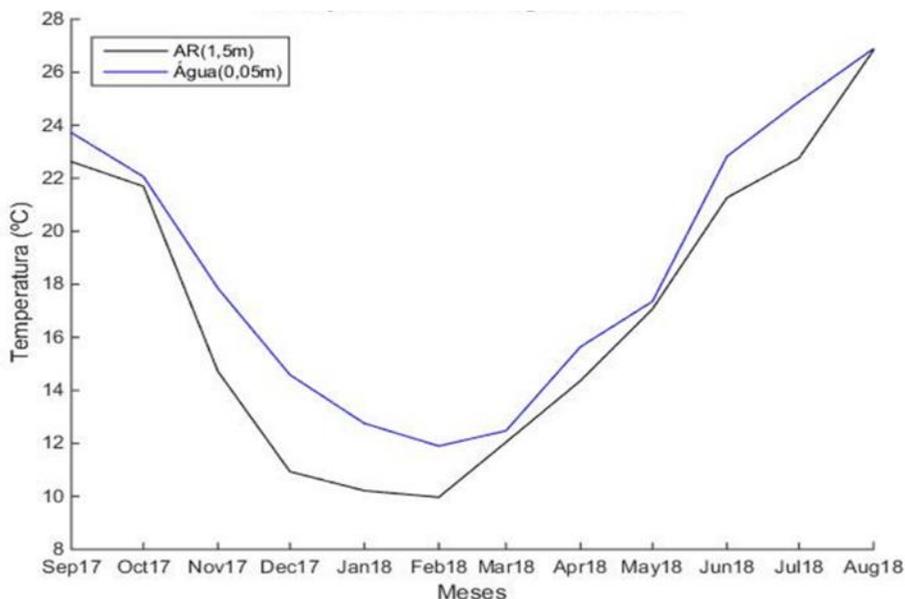


Figura 2 – Interação Atmosfera-Lago durante o ano hidrológico.

#### 4 Conclusão

O ano hidrológico apresentou valores da temperatura média do ar inferiores aos valores normais em pleno Inverno até Março. Fevereiro foi o mês em que se registaram temperaturas (média, mínima e máxima) mais baixas nas três estações meteorológicas em Alqueva, com valores inferiores a 0°C. Por outro lado, no mês de agosto, os valores médios de temperatura foram muito superiores à normal climatológica 1981-2010. Houve um maior aquecimento na região, tanto em Terra como no lago, registando-se, assim, valores superiores a 40°C e superiores a 25°C, respetivamente.

No estudo comparativo entre a temperatura da água e do ar, a temperatura da água esteve sempre mais elevada que a do ar. A maior capacidade calorífica da água (em relação ao ar) permite um maior e mais “lento” processo de aquecimento/arrefecimento levando ao comportamento observado ao longo do ano.

#### Agradecimentos

Agradecimento ao projeto ALOP e ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera pela disponibilização dos dados utilizados para este estudo.

#### Referências Bibliográficas

1. Iakunin, M.; Salgado, R.; and Potes, M.: Breeze effects at a large artificial lake: summer case study, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 5191–5210, 2018.

2. Potes, M; Salgado, R; Costa, M. J.; Morais, M; Bortoli, D; Kostadinov and Mammarella, I.: Lake- atmosphere interactions at Alqueva reservoir: a case study in the summer of 2014, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 69:1, 1272787.
3. IPMA (2018): Normais Climatológicas – 1981-2010 (provisórias) – Beja, *IPMA*, I.P.

# CHEMICAL AND MINERALOGICAL COMPOSITION OF NEOLITHIC AND CHALCOLITHIC ARROWHEADS: A METHODOLOGICAL APPROACH

## A COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DE PONTAS DE SETA NEOLÍTICAS E CALCOLÍTICAS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA

MAFALDA COSTA

*HERCULES Laboratory, University of Évora, Largo Marquês de Marialva, 8  
Évora, Portugal, mcosta@uevora.pt*

LUÍS DIAS

*HERCULES Laboratory, University of Évora, Largo Marquês de Marialva, 8  
Évora, Portugal, luisdias@uevora.pt*

LEONOR ROCHA

*Center for Studies in Archaeology, Arts and Heritage Science (CEAACP) & History Department,  
University of Évora, Largo dos Colegiais, 2, Évora, Portugal, lrocha@uevora.pt*

JORGE OLIVEIRA

*Centre for Art History and Artistic Research (CHAIA) & History Department, University of Évora,  
Largo dos Colegiais, 2, Évora, Portugal, joli@uevora.pt*

PEDRO BARRULAS

*HERCULES Laboratory, University of Évora, Largo Marquês de Marialva, 8  
Évora, Portugal, pbarrulas@uevora.pt*

JOSÉ MIRÃO

*HERCULES Laboratory & Geosciences Department, University of Évora, Largo dos Colegiais, 2  
Évora, Portugal, jmirao@uevora.pt*

**Resumo:** Uma abordagem multi-analítica e não-invasiva foi utilizada para determinar a composição química e mineralógica de pontas de seta silíceas. Estas amostras, recuperadas durante as escavações realizadas na Anta Grande do Zambujeiro e da Anta da Mitra 2, foram analisadas por fluorescência de raios-X portátil, microscopia electrónica de varrimento de pressão variável acoplada a espectrometria de raios-X por dispersão de energia e micro difracção de raios-X ( $\mu$ -DRX). Os resultados mostram que as matérias-primas usadas para fabricar as pontas de seta encontradas nos dois monumentos megalíticos são diferentes. Se esta diferença está relacionada com disponibilidade de matérias-primas, diferentes estratégias de aquisição, ou simplesmente por escolha, permanece por esclarecer.

**Palavras-chave:** chertes, pontas de seta, Períodos Neolítico e Calcolítico,  $\mu$ -DRX.

**Abstract:** A multi-analytical and noninvasive approach was used to determine chemical and mineralogical composition of lithic siliceous arrowheads. These samples recovered during the excavation of the Zambujeiro and the Mitra 2 dolmens were analyzed by handheld X-ray fluorescence, variable pressure scanning electron microscope coupled with energy dispersive X-ray spectrometry and micro-X-ray diffraction ( $\mu$ -XRD). The results show that the raw materials used to manufacture

the arrowheads found in the two funerary monuments are different. Whether this difference is related to distinct availability of raw materials, different procurement strategies, or simply by choice, remains unknown.

**Key words:** chert, arrowheads, Neolithic and Chalcolithic periods,  $\mu$ -XRD.

## 1 Introduction

The generic geological term *chert* is used to describe siliceous rocks of biogeochemical origin. Chert can also be referred to as flint or silex. This lithic material was commonly used throughout pre-history to produce flaked stone artefacts, such as blades and arrowheads, with characteristic conchoidal fractures. Due to their better preservation, when compared with perishable objects such as bone tools, flaked stone artefacts are ubiquitous in prehistoric archaeological sites. Analytical techniques have been increasingly used to study flaked stone artefact assemblages (e.g. [1-4]). Fully characterizing flaked stone artefacts is of particular interest since this information can be used to determine the provenance of the raw materials used in their production and to reconstruct interaction or trade networks between different prehistoric communities [3,5]. Sourcing can also be used to infer social stratigraphy, procurement strategies and territory definition [5].

In this study, a methodological and non-invasive approach was developed to obtain the chemical and mineralogical composition of a collection of lithic siliceous arrowheads from two different megalithic funerary contexts.

## 2 Zambujeiro and Mitra 2 dolmens

The samples were recovered during the excavations carried out in the Zambujeiro and Mitra 2 dolmens. These megalithic monuments are located in the district of Évora, in Portugal, near the village of Valverde, and are separated by ca. 2 km as the crow flies.

The site's stratigraphy and the recovered artifacts seem to indicate that the Zambujeiro dolmen was built between the Late Neolithic and the Chalcolithic periods, but its occupation extends until the Bronze or Iron Age. On the other hand, the recovered grave goods indicate that Mitra 2 dolmen was built in the Middle-Final Neolithic, but its occupation may have occurred until the end of the Chalcolithic period. Thus, the stratigraphy and recovered artifacts of the Zambujeiro and Mitra 2 dolmens indicates that both funerary monuments were used simultaneously between the Final Neolithic and Chalcolithic periods. Possible overlap of usage on a larger time-scale has not yet been excluded.

## 3 Materials & Methods

### 3.1 Materials

A collection of lithic arrowheads was analyzed in this study. Forty-nine arrowheads recovered from the Zambujeiro dolmen and 61 arrowheads from the Mitra 2 dolmen were selected based on morphological and temporal criteria, always keeping in mind the

representativeness of the chosen samples. The samples were separated into 9 typological groups: A, B, C1, C2, D, E, F, G and H.

### **3.2 *Handheld X-ray fluorescence (hXRF)***

A handheld XRF Bruker™ Tracer III SD® was used for in-situ h-XRF analysis. Spectra were recorded using two different conditions. In order to obtain data regarding major elements, a voltage of 15 kV and current intensity of 25  $\mu$ A was applied, as well as vacuum conditions, during a 180-second live-time count. To determine minor and trace elements present all samples were measured at 40 kV, 35  $\mu$ A, with a 12 mil Al, 1 mil Ti, 6 mil Cu filter placed in the X-ray path for a 240-second live-time count. Due to their size, each sample was analyzed in one location, and the generated net areas of the fluorescence lines were normalized to the total count of the spectra [3,4].

### **3.3 *Variable pressure scanning electron microscope coupled with energy dispersive X-ray spectrometry (VP-SEM-EDS)***

VP-SEM-EDS analyses were carried out using a Hitachi™ S3700N SEM coupled to a Bruker™ XFlash 5010 SDD EDS Detector® with an energy resolution of 124 eV in the Mn K $\alpha$  line. The variable pressure approach allowed the samples to be analyzed without any sampling or preparation steps. The analysis was done using a low vacuum of 40 Pa and an accelerating voltage 20 kV. The compositional data was acquired using the Esprit1.9 software and a standardless quantification [4]. The SEM images were acquired in BSE3D mode. In this mode, the electron backscattering signal is modulated by the different individual detectors to build a topography image.

### **3.4 *Micro-X-ray diffraction ( $\mu$ -XRD)***

$\mu$ -XRD analysis was carried out using a Bruker™ D8 Discover®, equipped with a Cu K $\alpha$  radiation source (40 kV, 40 mA), a Göebel mirror, a 1-mm collimator, and a LYNXEYE linear detector, acting as 192 individual detectors. The XRD patterns were acquired at a  $2\theta$  angular range of 3–75°, with a step size of 0.05° and a step time of 1 s. The identification of crystalline phases and the semi-quantification by the Reference Intensity Ratio method [6] were performed with the DIFFRAC.SUITE EVA® software using the Powder Diffraction File (PDF-2) X-ray patterns database of the International Centre for Diffraction Data.

## **4 Preliminary Results & Discussion**

A preliminary bulk composition analysis of all 110 samples performed using hXRF revealed that there is no correlation between chemical composition and typology in the samples from both the Zambujeiro and the Mitra 2 dolmens. However, the assemblages from both funerary monuments have distinct differences in terms of chemical composition. The chemical element biplots indicate that silicon, aluminum, iron, calcium and potassium

behave as major elements in the Zambujeiro dolmen assemblage, while only iron and silicon behave as major elements in the Mitra 2 assemblage (Figure 1).

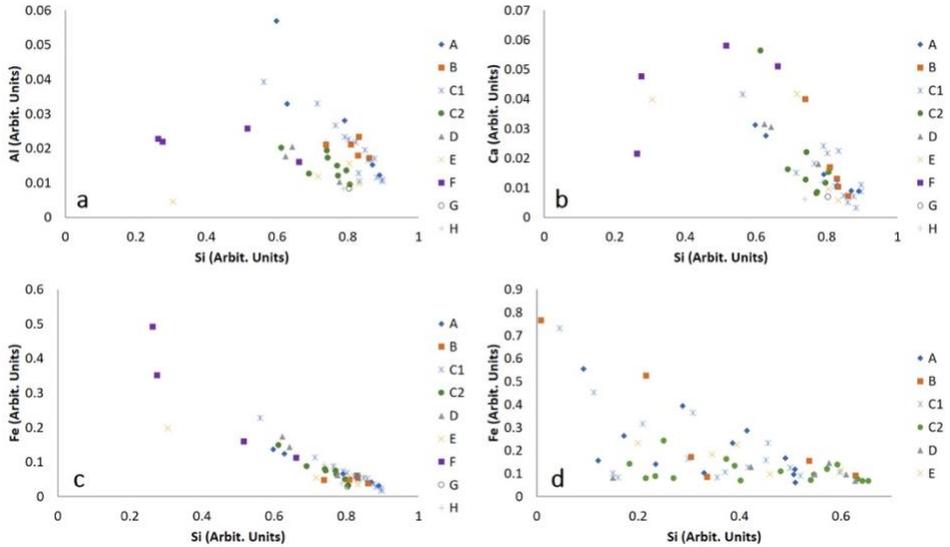


Figure 1: Chemical element biplots that show that Si, Al, Fe and Ca behave as major elements in the Zambujeiro arrowheads (a-c), while both Si and Fe behave as major elements in Mitra 2 arrowheads (d).

A sub-sample of 41 silica-based arrowheads (23 from the Zambujeiro collection and 18 from the Mitra 2 assemblage) was studied by VP-SEM-EDS in order to perform elemental mapping and point analysis, and to determine morphological features, such as texture. The VP-SEM-EDS results again showed no correlation between typology and chemical composition. Nonetheless, several differences were found between the samples from the Zambujeiro and Mitra 2 dolmens. The samples from the Zambujeiro dolmen have a predominant heterogeneous composition generally composed of a silica matrix with inclusions that indicate detrital contribution (phyllosilicates, zircon, rutile and rarely apatite) and granular or microcrystalline texture; while the samples from the Mitra 2 dolmen have a predominant homogeneous siliceous based composition and crypto or microcrystalline texture (Figure 2).

Micro X-ray diffraction results allowed the separation of the samples into four groups according to their mineralogical composition (Table 1): i) composed exclusively of quartz; ii) composed of quartz with variable relative amounts of moganite (never exceeding 20%); iii) composed of quartz and minerals that can be linked to detrital contribution or associated with superficial terrigenous deposits (micas, clay, iron oxides and calcite); iv) composed of moganite, cristobalite and tridymite. The first three groups are common to both the samples from the Zambujeiro and the Mitra 2 dolmens. The group composed of quartz polymorphs was only identified in the samples from the Mitra 2 dolmen. The  $\mu$ -XRD results are congruous with the idea that arrowhead typology and chert type are not related.

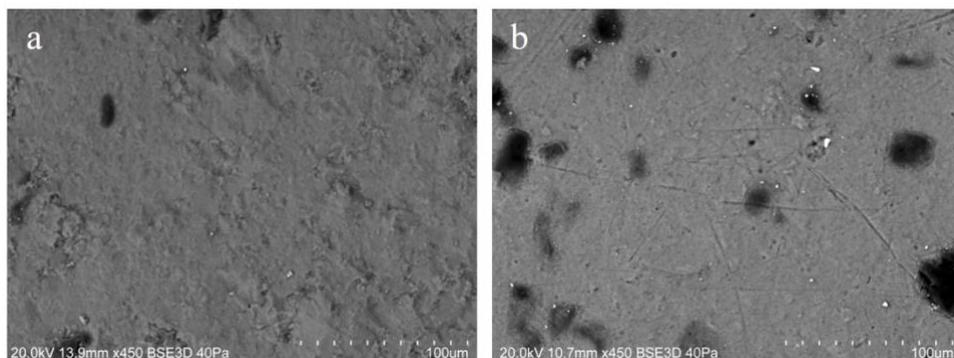


Figure 2: Examples of the textures identified in the arrowheads from the Zambujeiro and Mitra 2 dolmens. a) microcrystalline texture (sample from the Zambujeiro dolmen); b) cryptocrystalline texture (sample from the Mitra 2 dolmen).

Table 1: Subdivision of samples into groups according to their mineralogical composition determined by  $\mu$ -XRD. Abbreviations: Qz = quartz, Mog = moganite, Crs = cristobalite, Trd = tridymite, various minerals = minerals that can be linked to detrital contribution or associated with superficial terrigenous deposits (micas, clay, iron oxides and calcite). All numbers represent the total number of samples of each typological or mineralogical group.

	Zambujeiro Dolmen									Mitra 2 Dolmen					
	A	B	C1	C2	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F
<b>Qz</b>	1	1	5	2	1	2	1	1	1	1	1	-	-	1	1
<b>Qz + Mog</b>	-	1	1	-	-	-	-	-	-	2	1	2	3	1	-
<b>Qz + various minerals</b>	1	1	1	1	-	-	2	-	-	-	-	1	1	-	1
<b>Mog + Crs + Trd</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-
<b>Total</b>	2	3	7	3	1	2	3	1	1	4	3	3	4	2	2

## 5 Conclusions

Complete characterization of chert raw materials requires a multi-analytical approach. Noninvasive analytical techniques – h-XRF, VP-SEM-EDS and  $\mu$ -XRD – were used to determine the chemical and mineralogical composition of arrowheads from the Zambujeiro and the Mitra 2 dolmens, located in Évora, Portugal.

It was demonstrated that it is possible obtain high quality mineralogical and geochemical data in geological/archeological samples without damaging the artefacts.

No relationship was found between the chemical and mineralogical composition and typology in the samples from both the Zambujeiro and the Mitra 2 dolmens, *i.e.* the composition of the samples within the same typological group is heterogeneous.

However, results suggest different raw material were selected to produce the arrowheads found in each dolmen. Whether this difference is related to distinct availability of raw materials, different procurement strategies, or simply by choice, remains unknown. Future

studies will focus on trace element analysis using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) in order to perform provenance studies.

### Acknowledgments

This work has been financially supported by the UID/Multi/04449/2013 (POCI-01-0145-FEDER-007649) project, funded by Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) and by the European Regional Development Fund. M. Costa also acknowledges the reciprocity of a category B EACEA scholarship and thanks FCT for her Ph.D. Fellowship (SFRH/BD/128889/2017) co-funded by the European Social Fund and national funds. The authors would also like to thank the Évora Museum for kindly providing the samples from the Zambujeiro Dolmen.

### References

1. Brandl, M., Hauenberger, C., Postl, W., Martinez, M. M., Filzmoser P. & Trnka, G. (2014). Radiolarite studies at Krems-Wachtberg (Lower Austria): Northern Alpine versus Carpathian lithic resources. *Quaternary International*, 351, 146-162.
2. Ekshtain, R., Malinsky-Buller, A., Ilani, S., Segal, I. & Hovers, E. (2014). Raw material exploitation around the Middle Paleolithic site of ‘Ein Qashish. *Quaternary International*, 331, 248-266.
3. Roldán, C., Carballo, J., Murcia, S., Eixea, A., Villaverde, V. & Zilhão, J. (2015). Identification of local and allochthonous flint artefacts from the Middle Palaeolithic site “Abrigo de la Quebrada” (Chelva, Valencia, Spain) by macroscopic and physicochemical methods. *X-Ray Spectrometry*, 44(4), 209-216.
4. Pereira, T., Andrade, C., Costa, M., Farias, A., Mirão, J. & Carvalho, A.F. (2016). Lithic economy and territory of Epipaleolithic hunter–gatherers in the Middle Tagus: The case of Pena d’Água (Portugal). *Quaternary International*, 412 (Part A), 135-144.
5. Delage, C. (1997). Chert procurement and management during the prehistory of northern Israel. *Bulletin du Centre de Recherché Français de Jérusalem*, 1, 53-58.
6. Duarte, I., Pedro, E., Varum, H., Mirão, J. & Pinho, A. (2017). Soil mineralogical composition effects on the durability of adobe blocks from the Huambo region, Angola. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 76(1), 125-132.

## MAGNETOMETRIA NA REGIÃO DE CABEÇO DE VIDE – SECTOR DE ALTER DO CHÃO – ELVAS

### MAGNETOMETRY IN THE REGION CABEÇO DE VIDE - SECTOR OF ALTER DO CHÃO - ELVAS

PAULA AFONSO

*Instituto de Ciências da Terra (ICT), Pólo de Évora, Departamento de Física da Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora, R. Romão Ramalho 59, Évora, Portugal,  
paula.afonso24@gmail.com*

JOSÉ F. BORGES

*Instituto de Ciências da Terra (ICT), Pólo de Évora, Departamento de Física da Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora, R. Romão Ramalho 59, Évora, Portugal,  
jborges@uevora.pt*

PEDRO NOGUEIRA

*Instituto de Ciências da Terra (ICT), Pólo de Évora, Departamento de Geociências da Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora, R. Romão Ramalho 59, Évora, Portugal,  
pnogas@gmail.com*

**Resumo:** O complexo básico–ultrabásico de Cabeço de Vide, foi alvo de estudos de prospeção pelo Serviço Fomento Mineiro (SFM) na década de 1970 e mais recentemente por companhias privadas. Nesta região ocorrem mineralizações metalíferas de Ni-Cu-Co e, em menor percentagem, de elementos do grupo da platina e ouro. No sentido de identificar um possível depósito mineral, e tendo sido realizadas anteriormente diversas campanhas de aquisição de dados geofísicos (magnetometria), este estudo pretende reinterpretar os dados já existentes, tendo em vista os objetivos do projeto ZOM-3D.

**Palavras-chave:** complexo básico–ultrabásico de Cabeço de Vide; geofísica; prospeção magnética; estatística simples.

**Abstract:** The basic-ultrabasic complex of Cabeço de Vide, was the subject of several studies of exploration by the SFM in the 1970 s and more recently by other mining companies. In this region there are metalliferous mineralization of Ni-Cu-Co and, to a lesser extent, elements of the platinum and gold group. To identify possible exploration targets considering that previously have been carried out several geophysical (magnetometry) data acquisition campaigns to identify possible targets, this study intends to reinterpret existing data, in view of the objectives of the project ZOM-3D.

**Key words:** basic-ultrabasic complex of Cabeço de Vide; geophysics; magnetic prospection; simple statistics.

## 1 Introdução

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto de investigação ZOM-3D Alentejo2020, que tem como objetivo a investigação de modelos metalogénicos de depósitos minerais da Zona de Ossa-Morena, através da interpretação e processamento de dados de cartografia geológica, mineralogia, geoquímica e geofísica.

A investigação geofísica apresentada neste trabalho, tem como principal objetivo analisar os dados adquiridos pelo antigo Serviço Fomento Mineiro (SFM), atual Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), parceiro do projeto. Este trabalho desenvolveu-se na região de Cabeço de Vide, no setor de Alter do Chão – Elvas [5], no qual o SFM realizou diversas campanhas de geofísica na década de 1970. Dos levantamentos realizados, destaca-se a aplicação dos métodos magnéticos, que possibilitou a elaboração de um conjunto de mapas na escala 1:5.000. Estes mapas, encontram-se na atual base de dados do LNEG, e são utilizados no presente estudo com o objetivo de ser feito o planeamento das futuras campanhas de geofísica e geoquímica a realizar no terreno, no âmbito do projeto ZOM-3D.

## 2 Enquadramento

A região de Cabeço de Vide, localiza-se no Maciço de Alter do Chão, por sua vez pertencente ao sector Alter do Chão – Elvas da Zona de Ossa Morena [5].

Este maciço é constituído essencialmente por rochas básicas e ultrabásicas, que se encontram alongadas segundo a direção NW-SE, encontrando-se intruso na série carbonatada do Câmbrico, tendo dado origem a uma orla de metamorfismo bem acentuada e visível em afloramento [3]. O complexo básico-ultrabásico de Cabeço de Vide, situa-se a SE do alinhamento do Maciço de Alter do Chão. A figura 1 apresenta um extrato da carta geológica 1:500.000 que foi utilizada como base para análise [2].

A região de Cabeço de Vide, foi inicialmente alvo de trabalhos de prospeção e pesquisa pelo SFM, na década de 1970, para avaliar a existência de mineralizações de Ni e Cu. Os levantamentos então efetuados possibilitaram que as rochas básicas e ultrabásicas daquele Complexo fossem definidas na sua extensão, através da prospeção geoquímica e magnética [3]. Recentemente, a empresa Rio Narcea Gold Mines S.A. desenvolveu um programa de prospeção para a mesma região, que revelou pela primeira vez a existência de mineralizações de Elementos do Grupo da Platina (EGP) e Ouro [4].

O complexo básico-ultrabásico de Cabeço de Vide, segundo o estudo da Rio Narcea Gold Mines S.A. está dividido em quatro unidades geológicas, destacando-se as rochas ultrabásicas, constituídas por peridotitos que se podem encontrar serpentinizados, ocupando a parte interna do complexo; as litologias gabróicas que se encontram em contacto com as rochas ultramáficas; seguindo-se um domínio metassomático, constituído por skarns e corneanas. O encaixante do Complexo é constituído por calcários de idade atribuída ao Câmbrico [6]; [7].

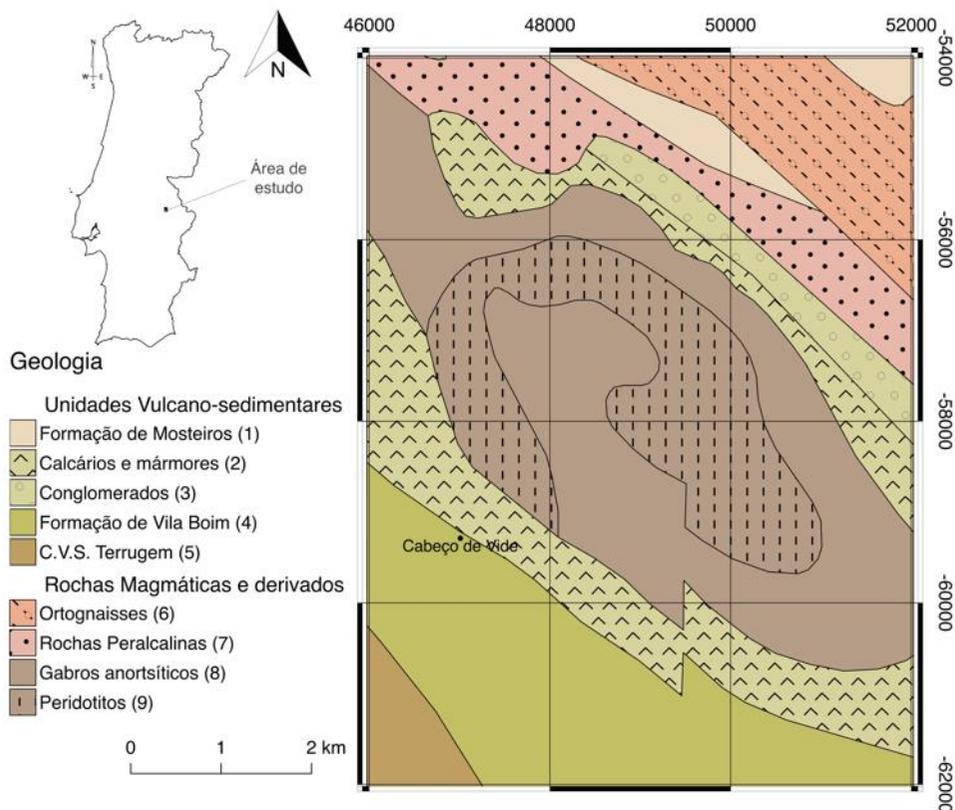


Figura 1. Extrato da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:500.000

### 3 Reinterpretação de dados geofísicos

Numa fase inicial, foi necessário estudar os dados existentes do SFM, disponíveis em mapa. Posteriormente, seguiu-se uma metodologia que envolveu a digitalização dos valores de anomalia da componente vertical do campo magnético, disponíveis em *raster*, adquiridos pelas equipas do SFM numa malha regular, com um espaçamento de 100 metros (levantamentos não publicados de Vitor Alvoeiro). Os levantamentos magnéticos foram realizados com recurso a magnetómetros de fluxo (*fluxgate*). Estes são instrumentos que contêm um sensor com dois núcleos paralelos constituídos por um material magnético, e duas bobinas que os envolvem. Pelas bobinas passa corrente alternada, que gera um campo magnético nos núcleos. Quando o campo magnético dos núcleos é somado a um campo magnético local, a força (tensão) exercida pelo campo magnético na corrente sofre alteração que vai ser, proporcional ao campo magnético local. A maioria das pesquisas efetuadas com os magnetómetros de fluxo, são realizadas no solo, medindo apenas o campo vertical [8]; [9].

Os mapas que continham a informação referente à região de Cabeço de Vide, foram georreferenciados e os seus pontos digitalizados, para um ambiente SIG (QGIS), tendo como objetivo a realização de uma interpolação, recorrendo a ferramentas numéricas

atuais. Este procedimento permitiu reanalisar a informação dos mapas produzidos pelo SFM e efetuar a análise dos dados.

Para a região de Cabeço de Vide, os dados de anomalias magnéticas cobrem uma área de cerca de 48 km<sup>2</sup>, tendo sido digitalizados 4 946 valores de amplitude do campo magnético. A figura 2 representa o resultado dessa interpolação. Constata-se a existência de uma anomalia positiva de dimensões consideráveis (grande comprimento de onda), cuja orientação geral é NW-SE e contorno coincidente com o Complexo de Cabeço de Vide. Observa-se ainda uma anomalia positiva, imediatamente a norte da anterior, de comprimento de onda menor, que se encontra em rochas que não estão cartografadas como pertencentes ao Complexo, o que pode sugerir a existência de rochas desta natureza não aflorantes, tendo sido abordada já num trabalho anterior [1]. A nova interpolação foi realizada com recurso ao programa Surfer 12 (Golden Software), usando o método *Krigging*, e com uma distância entre pontos de metade do valor da malha original (50m). Posteriormente, a grelha interpolada foi introduzida em ambiente SIG, para sua interpretação em contexto espacial, geológico e estatístico, através da sua sobreposição com imagens de satélite e com a carta geológica.

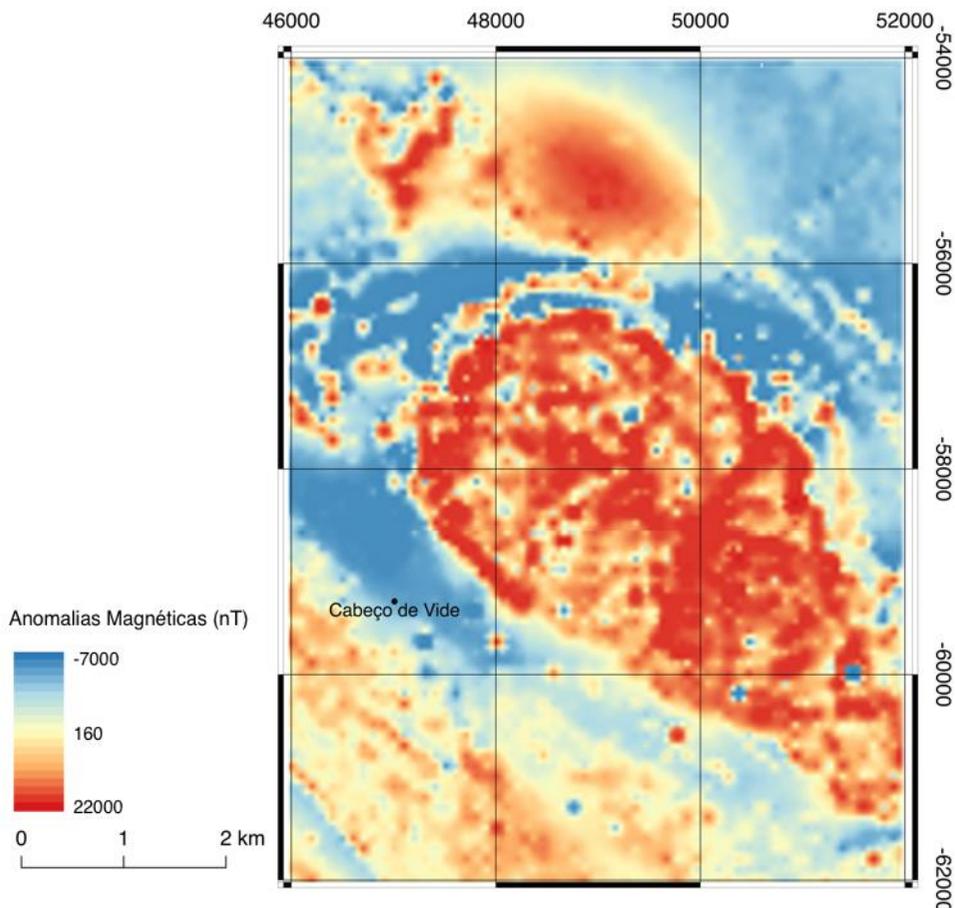


Figura 2. Mapa de anomalias magnéticas em nT (dados dos SFM – interpolação ZOM-3D)

### 3.1 Metodologia

Após uma primeira interpretação do mapa obtido, foi realizada a estatística descritiva partindo do *raster* das anomalias magnéticas. Para tal, o mapa foi introduzido em ambiente SIG (QGIS) e através da opção *Clip raster by mask layer* foi efetuada uma separação de litologias, resultando num conjunto de valores de campo magnético correspondentes a essas litologias recortadas. A área de estudo tem cerca de 48km<sup>2</sup> e abrange nove litologias diferentes, para cada uma foi calculado o intervalo de valores de campo magnético (máximo e mínimo), a média e o desvio padrão, esses valores encontram-se na Tabela 1. O número de pontos presentes em cada litologia não foi tido em conta, bem como a área correspondente a cada unidade litológica.

### 3.2 Discussão de resultados

A tabela 1 sintetiza os resultados obtidos por análise estatística descritiva dos valores de campo magnético vertical da região de Cabeço de Vide.

A Formação de Mosteiros (1) e os Calcários dolomíticos e mármore (2), apresentam valores entre 100-120 nT de média, sendo consistentes com os valores das rochas equivalentes descritas por Telford *et al.*, 2004.

Os Conglomerados, vulcanitos ácidos e arcose (3), a Formação de Vila Boim (4) e o Complexo Vulcano-Sedimentar da Terrugem (5) registam valores à volta de 200 nT, consistente com os valores compreendidos para estas litologias (*op. cit.*).

O valor que encontramos para as Rochas peralcalinas (7), é aceitável uma vez que se encontra dentro dos parâmetros numéricos descritos.

Os valores médios que encontramos para os Peridotitos (9) e Gabros (8) são bastante mais elevados, dado que se tratam de rochas ultramáficas e máficas, respetivamente, caracterizadas pela presença de minerais ferromagnesianos.

O valor negativo que observamos nos Ortognaisses (6), destaca-se dos restantes o que poderá levantar algumas dúvidas, contudo, observando com detalhe a figura 1 e 2, e ainda numa abordagem inicial, este valor poderá ser uma das consequências do corpo ígneo, de grandes dimensões e de suscetibilidade magnética elevada que corresponde ao Complexo de Cabeço de Vide.

Tabela 1. Valores de Campo Magnético em nT, para as litologias do local em estudo.

	Valores de Campo Magnético (nT)		
	Min-Máx	Média	Desvio Padrão
<b>Unidades Vulcano-sedimentares</b>			
Formação de Mosteiros (1)	[-186,9; 651,0]	119,9	209,3
Calcários dolomíticos e mármore (2)	[-977,0; 2723,0]	108,4	408,8
Conglomerados, vulcanitos ácidos e arcose (3)	[-492,3; 1974,0]	228,9	576,1
Formação de Vila Boim (4)	[-895,0; 1777,0]	216,0	214,1
Complexo Vulcano-Sedimentar da Terrugem (5)	[-154,0; 927,0]	174,5	160,4
<b>Rochas magmáticas e derivados</b>			
Ortognaisses (6)	[-355,0; 124,0]	-131,7	63,0
Rochas peralcalinas (7)	[-321,0; 2196,0]	176,4	365,5
Gabros anortosíticos (8)	[-6531,0; 21671,0]	566,7	903,3
Peridotitos (9)	[-1492,0; 13835,0]	798,4	892,2

Trabalhos futuros com recurso a software especializado de modelação 2D e 3D, permitirão reconhecer e interpretar com mais detalhe os dados obtidos. Este trabalho será complementado com novos levantamentos magnéticos recorrendo ao magnetómetro overhouser com localização por GPS (GEM Systems GSM-19; resolução: 0,01 nT; sensibilidade: 0,022 nT) e que permitirá uma aquisição de dados com uma malha mais fina, melhorando a resolução dos dados até agora obtidos e as interpretações.

### Agradecimentos

Este trabalho é financiado pela União Europeia através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, enquadrado no Programa ALENTEJO 2020 (Programa Operacional Regional do Alentejo) através do projeto ZOM-3D "Modelos metalogénicos 3D da zona de Ossa Morena: valorização dos recursos minerais do Alentejo", com a referência ALT20-03-0145-FEDER-000028 e através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, enquadrado no Programa COMPETE 2020 (Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização), através do Projeto ICT (UID/GEO/04683/2013), com referência POCI-01-0145-FEDER-007690.

### Referências

1. Afonso, P., Oliveira, R.J., Mendes, P., Borges, J. F., Caldeira, B., Gonçalves, P., Matos, J. X., Nogueira, P. (2018) - Magnetometria e geoquímica de metais pesados na região Cabeço de Vide – sector de Alter do Chão – Elvas. Livro de Actas VIII Congresso de Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2018., pp. 120-123.
2. Araújo, A. A., Almeida, J. P., Borrego, J., Pedro, J., Oliveira, T. (2013) - As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena.
3. Gonçalves, F. (1973) - Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e notícia explicativa para a folha 32-B- Portalegre. Serviços Geológicos Portugueses.
4. Mateus, A., Munhá, J., Inverno, C., Matos, J.X., Martins, L., Oliveira, D., Jesus, A., Salgueiro, R. (2013) – Mineralizações no sector português da Zona de Ossa-Morena. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (Ed.), Geologia de Portugal, vol. 1, Escolar Editora, pp. 577-619.
5. 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. *Comum. Serv. Geol. Port.* 77:3- 26.
6. Pinto, Z., Pañeda, A., Castelo Branco, J. M. (2006a) - Área de Campo Maior - Relatório final de actividades: [2003-2006]. Relatório inédito de prospecção e pesquisa da Rio Narcea Gold Mines S. A.
7. Pinto, Z. A., Pañeda, A., Castelo Branco, J. M., Gomes, C. L., Dias, P. A. (2006b) - Cartografia geológica do complexo básico-ultrabásico de Cabeço de Vide: ensaio sobre a geometria e potencial metalogenético. In VII Congresso Nacional de Geologia, pp. 1051-1054.
8. Silva, S. (2013) - Desenvolvimento de uma metodologia para realização de levantamentos magnéticos marinhos para deteção de objetos (Tese de Mestrado).
9. Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. (2004) *Applied Geophysics*. Press Syndicate of the University of Cambridge.

# THE MINEPLAT PROJECT - A COMPREHENSIVE WORK FOR ASSESSMENT OF THE ALENTEJO CONTINENTAL SHELF FOR MINERALS AND QUATERNARY ENVIRONMENTAL CHANGES

## PROJETO MINEPLAT – UMA ABORDAGEM MULTIDISCIPLINAR PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EM RECURSOS MINERAIS METÁLICOS E EVOLUÇÃO PLIO-QUATERNÁRIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL ALENTEJANA

JOÃO NOIVA

*Universidade de Évora, Departamento de Geociências  
Évora, Portugal, d37442@alunos.uevora.pt*

CARLOS RIBEIRO

*Universidade de Évora, Departamento de Geociências  
Évora, Portugal, cribeiro@uevora.pt*

PEDRO TERRINHA

*Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Divisão de Geologia e Geo-recursos Marinhos.  
Lisboa, Portugal, pedro.terrinha@ipma.pt*

PEDRO BRITO

*Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Divisão de Geologia e Geo-recursos Marinhos.  
Lisboa, Portugal, pedro.brito@ipma.pt*

MARTA NERES

*Instituto Dom Luís, IDL, Universidade de Lisboa  
Lisboa, Portugal, neresmarta@gmail.com*

**Resumo:** Este trabalho apresenta os resultados preliminares obtidos em 3 campanhas de geofísica marinha MINEPLAT, organizadas pela Universidade de Évora em parceria com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Os resultados são baseados na análise integrada de dados geofísicos, nomeadamente, sísmica de reflexão multicanal de muito alta resolução, batimetria multifeixe, retro dispersão acústica e magnetismo. As campanhas decorram na plataforma continental do Alentejo (entre os 30 e os 200 metros de profundidade) entre Tróia e Odeceixe. A interpretação e a integração dos dados adquiridos constituem uma melhoria substancial no conhecimento da morfologia e geologia do fundo marinho e da subsuperfície marinha desta região diretamente relacionados com a avaliação do potencial em recursos minerais na plataforma continental do Alentejo bem como da evolução desta zona fisiográfica durante o Plio-Quaternário.

**Palavras-chave:** Plataforma continental do Alentejo, Recursos minerais, Pliocénico-Quaternário, Tectónica, Formas de fundo granulometricamente diferenciadas

**Abstract:** This paper presents some results of 3 MINEPLAT geophysical surveys, organized by Universidade de Évora in partnership with Instituto Português do Mar e da Atmosfera. It is based on the analysis of geophysical data collected during that surveys: ultra-high-resolution seismic data, multibeam data (bathymetry and backscatter data) and magnetic data. The surveys took place on the Alentejo continental shelf (30 to 200 meters depth) between Tróia and Odeceixe. The interpretation and integration of the acquired data allowed substantial improvement in the knowledge of the morphology and geology of both the surface and subsurface of this area, towards the assessment of the mineral resources potential in the continental shelf off Alentejo and the evolution of this physiographic unit during the Plio-Quaternary.

**Key words:** Alentejo continental shelf, Mineral resources, Pliocene-Quaternary, Tectonics, Sorted bedforms.

## 1 Introduction

The Alentejo continental shelf is characterized by poor morphological differentiation corresponding to a surface weakly sloping westward to a depth of approximately 1000 m (Vanney & Mougénot, 1981). This applanation, resulting from multiple phases of erosive activity, has been tailored due to recent variations in sea level and Plio-Quaternary tectonic activity. Despite its general flat character, there are frequent morphological accidents whose role in sedimentation control has not yet been fully understood.

The sedimentary cover of the Alentejo continental shelf, is essentially constituted by detrital sediments with variable granularity (from gravel to thin mud), with a bioclastic component of variable importance (Instituto Hidrográfico, 2005). The oldest formations of the substrate include the Paleozoic formations of the South-Portuguese Zone, namely: Baixo Alentejo Flysch Complex, Cercal Vulcan-Siliceous Complex, Tercenas Formation, Mesozoic sedimentary formations and the cortege of magmatic rocks of the immersed area of the Sines Magmatic Complex.

The heavy minerals content from cover sediments, both onshore and offshore, was studied by some authors (e.g. Moura & Pinto, 2013, Cascalho, J., & Reis, J., 2014), showing a variety of resistate with provenance from the Sines magmatic massif, the erosion of Paleozoic metasediments and the remobilization of Mesozoic detrital sediments. Some of the resistate present in the cover sediments have the potential to constitute metallic placers specially the ilmenite and magnetite. Hematite, rutile, monazite, titanite and enstatite are also present as subordinate mineralogical phases.

The MINEPLAT project aims to evaluate the potential in metallic mineral resources along and Plio-Quaternary environmental changes of the Alentejo continental shelf. Including the tasks of: geophysical survey of the entire Alentejo continental shelf, sediment sampling, mineralogical and chemical characterization of the collected sediments. In this work the first results of the geophysical surveys already carried out will be presented as well as the contribution to the knowledge of the geology of the region.

### 1.1 *Data and methods: the MINEPLAT geophysical surveys*

To obtain a very high-resolution geophysical dataset, three multidisciplinary geophysical surveys (acoustic and magnetic data), were organized by Universidade de Évora in partnership with Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). These surveys named MINEPLAT01 (2016), MINEPLAT02 (2017) and MINEPLAT03 (2018) covered almost all Alentejo continental shelf area, with exception of area between Sines and Vila Nova de Milfontes, as shown in Figure 1.

The acquisition of geophysical data was done using two research vessels from the project partner IPMA. MINEPLAT01 and MINEPLAT03 surveys were made with NI NORUEGA and MINEPLAT02 survey was made with NI DIPLODUS.

In the three MINEPLAT surveys (Figure 1) 1400 km of ultra-high-resolution multi-channel seismic data (UHRS), 950 sq. km of multibeam echo-sounder data (MBES bathymetric),

950 sq. km of backscatter (MBES backscatter) data and 1300 km of magnetic data profiles were acquired.

The UHRS data was acquired using a Geo Marine Survey Systems spread, towed from the vessel aft at starboard, consisted of one 200 tips sparker source, a power supply unit configured to output 400-600 J shooting every 0.5 s, a 24-channel hydrophone chain with 3.125 meters of group interval towed with a slanted geometry. The geometry of the acquisition lines was designed to characterize the main regional geological structures (Figure 1). The in lines were acquired perpendicular to the coastline spaced a nautical mile and the cross lines were acquired perpendicular to the in lines spaced four nautical miles. MBES bathymetric data were collected with a Reson SeaBat T50-P echo-sounder mounted in a pole at middle ship portside. This system produces 512 beams arrayed over a 150° equidistant arc and operates by ensonifying a narrow strip of sea floor across-track, and detecting the bottom echo with narrow, across-track, listening beams. The swath of sea floor imaged on each survey line was about 5 times the water depth. Line spacing was designed to ensure a minimum 30% of overlap between surveyed lines.

MBES backscatter data were simultaneously collected by the Reson T50-P echo-sounder. The seafloor backscatter is defined as the amount of acoustic energy received by the sonar after a complex interaction with the seafloor. This information can be used to classify the seafloor constitution: a softer bottom such as mud will return a weaker signal (-10 to -30 dB) than a harder bottom, like rock (-30 to -60 dB). UHRS profiles and swath bathymetry together with seafloor sampling will constrain the seafloor backscatter maps.

Magnetic data were acquired with a total field G-882 magnetometer (Geometrics) at 10 Hz acquisition frequency (average along-line resolution of 0.175 m) loaned by Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental (EMEPC). The magnetometer was towed at aft center 200 meters behind the vessel, to avoid its magnetic interference into the data, at average depth of 2.2 m below the sea surface. Total magnetic field data were corrected from diurnal variation using data acquired at a static magnetic station at the S. Teotónio (Alentejo) IPMA facilities at one measurement per minute rate. Magnetic anomaly data was then retrieved by subtraction of International Geomagnetic Reference Field (IGRF) main field. The anomalous magnetic field provides information about location of metallic objects (e.g. shipwrecks on the seafloor or in sub-seafloor) or geologic structures such as intrusive bodies or metallic placers.

## **1.2 Results and Discussion**

The sea-level rise that occurred after the Last Glacial Maximum (LGM) was one of the most important geological events to impact continental shelves (Lobo and Ridente, 2014). As the shelf has flooded, coastal environments have progressively migrated landward accompanying erosional and depositional processes (Cattaneo and Trincardi, 1999). The Alentejo continental shelf is a relatively flat and narrow platform (less than 200 m) with a low gradient (1-2°), submerged after LGM. The post glacial transgression began about 19 ka BP (Lobo et. al, 2015).

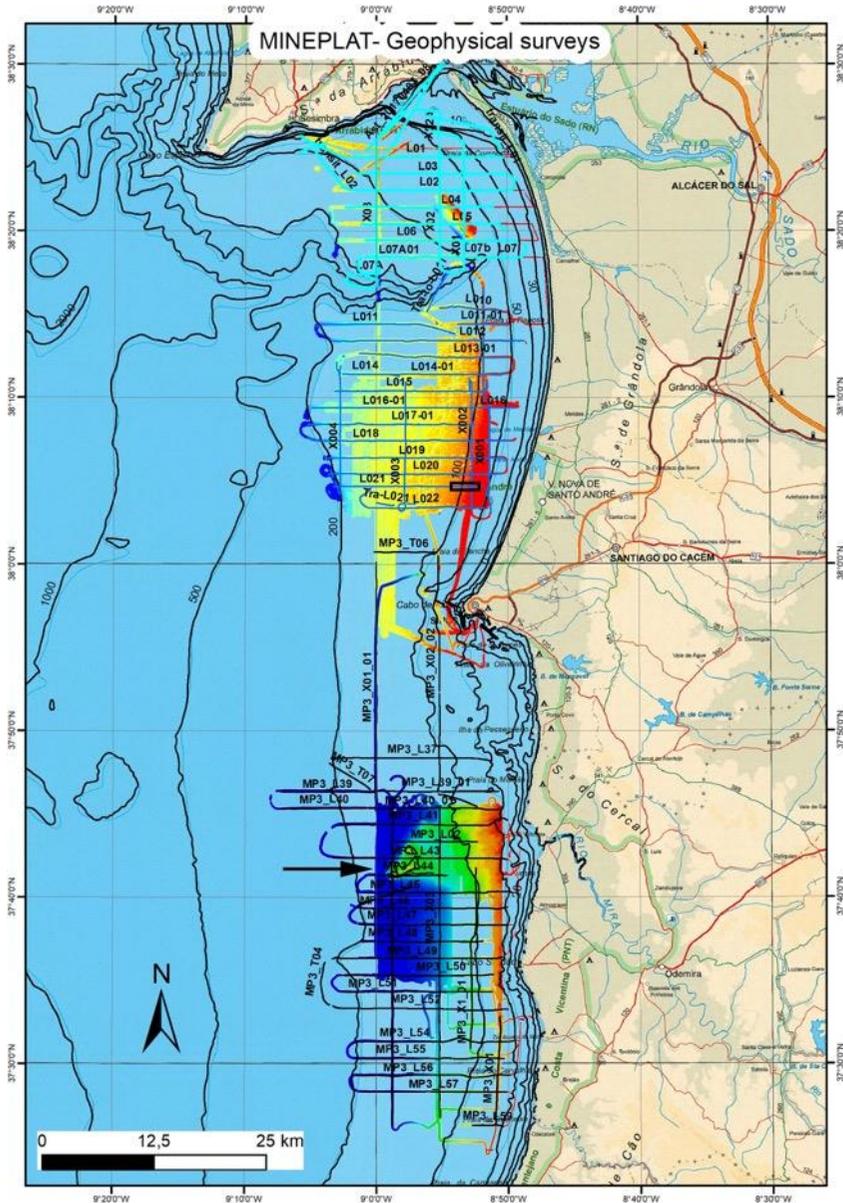


Figure 3. Geophysical data acquired during the three MINEPLAT surveys. UHRS profiles (MINEPLAT02 in septentrional area in light blue, MINEPLAT01 in central area in dark blue and MINEPLAT03 in meridional area in black). The magnetic data coverage is equivalent UHRS one. The MBES bathymetric data coverage is represented with a color palette varying from red to shallower zones and blue to deeper zones. The MBES backscatter data coverage is equivalent to the bathymetric one.

Since then the Alentejo continental shelf suffered an environmental change resulting from the progressive migration of the shoreline towards current one. Furthermore, the tidal currents of the region produce a complex and dynamic hydraulic regime in terms of erosion and deposition of Late Quaternary sedimentary units.

During the low stand of sea level at the LGM, the relative sea level was about 120 m lower than at present (Lobo et. al, 2015). At that time, the Alentejo continental shelf area was almost entirely exposed.

In the south part of Alentejo continental shelf (offshore Vila Nova de Milfontes) a rocky area at 100-120 m depth, with a promontory shape (arrow in Figure 1), could be interpreted as section of a paleo-shoreline with probably 19ka BP age.

In the north area of Alentejo continental shelf (above Sines) the seismostratigraphic interpretation shows an intensely faulted and folded ancient shelf (Figure 2). These older layers are carved with several paleo-channels that were backfilled with fluvial or coastal sediments deposited during transgression events.

The folded and faulted ancient shelf strata is truncated by prevalent erosional surface on top, showing that this area is sediment starved probably because when the sea level raised the shoreline migrated more quickly landward due to the low gradient of the shelf. Because of this the accommodation rate exceeds the sediment supply rate promoting the dispersion of sediment supply and forming a disperse thin layer that lays on top the erosional surface as shown, for example, in the UHRS profile of Figure 2.

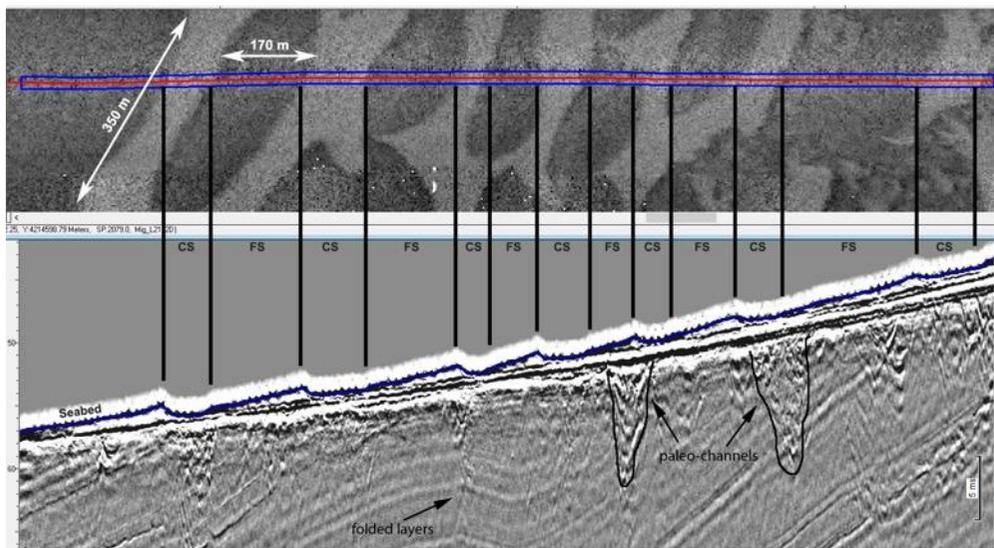


Figure 4. Location in Figure 1 (black bounding box). At top, backscatter data showing an excerpt of the sorted bedforms fields in offshore Alentejo continental shelf. These features develop in the middle shelf slope break, between 30 m and 45 m of water depth. White indicates coarse sediment (CS) and black indicates fine sediment (FS). At bottom, an excerpt of UHRS MINEPLAT01 L21 profile that cross the sorted bedforms field. There is a match between the backscatter data (vertical black lines) and UHRS data. The sorted bedforms corresponds to gentle slope change ( $1-1.5^\circ$ ) of the seabed dip, to the West and have 1 meter of maximum height. The sorted bedforms corresponds to a thin seismic unit with transparent facies that lays on a transgressive surface. Vertical scale in two-way time (TWT).

In this area a sorted bedforms field occurring from 30 to 120 m deep off the Alentejo continental shelf can be interpreted as active sand ridges developed after the high stand sea level at probably about 7 ka BP and is partly modified by current tidal currents. These sorted bedforms (Figure 2), are formed by a sequence of slight depressions characterized by coarse-grained sediments (Figure 2, CS) alternated with elongated mounds of finer sand

bodies (Figure 2, FS). The sorted bedforms, occurs in a gentle slope break are and have a perfect match with the UHRS profiles as shown in Figure 2. The thin sorted bedforms sediments lays on the transgressive sub-surface.

### **Acknowledgments**

João Noiva benefits from an Alentejo 2020 PhD grant under the MINEPLAT project. To MINEPLAT project ALT20-03-0145-FEDER-000013. To Estrutura de Missão para Extensão da Plataforma Continental (EMEPC) for the magnetometer loan. To Halliburton for providing the seismic interpretation software through the Landmark Universities software grant program. To Oasis Montaj for providing a software educational license to process the magnetic data.

### **References**

1. Cascalho, J., & Reis, J., (2014). Os minerais pesados e a proveniência sedimentar: estudo de casos do sudoeste da Península Ibérica. In: Proveniência de materiais geológicos: abordagens sobre o Quaternário de Portugal Associação Portuguesa para o Estudo do Quaternário, 57-86.
2. Cattaneo A., Trincardi F., (1999). The late-Quaternary transgressive record in the Adriatic epicontinental sea: basin widening and facies partitioning. Society for Sedimentary Geology Special Publication 64, 127-146.
3. Instituto Hidrográfico (2005) – Cartografia dos sedimentos superficiais da plataforma continental (Cabo da Roca ao cabo de Sines), escala 1:150 000, Folha SED5, 1ª Edição.
4. Lobo, F.J., Ridente, D., (2014). Stratigraphic architecture and spatio-temporal variability of high-frequency (Milankovitch) depositional cycles on modern continental margins: an overview. *Mar. Geol.* 352, 215e247.
5. Lobo, F. J., Durán, R., Roque, C., Ribó, M., Carrara, G., Mendes, I., Ferrín, A., Fernández-Salas, L. M., García-Gil, S., Galparsoro, I., Rosa, F. and Bárcenas, P., (2015). Shelves around the Iberian Peninsula (II): Evolutionary sedimentary patterns. *Boletín Geológico y Minero*, 126 (2-3): 377-408
6. Moura, A., & Pinto, F., (2013). Contribution to the study of Fe-Ti mineralization from S. Torpes beach (Sines, Setúbal, Portugal). *Cuadernos Laboratorio Xeoloxico de Laxe* 37: 181-196.
7. Vanney, J-R. & Mougenot, D., (1981). La plate-forme continentale du Portugal et le provinces adjacentes: Analyse Géomorphologique. *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, Nº 28.

**MATÉRIA ORGÂNICA EM LIDITOS E XISTOS NEGROS DO SILÚRICO DA ZONA DE OSSA-MORENA (MINA DOS MOCIÇOS – ALANDROAL)**

ORGANIC MATTER IN SILURIC LYDITES AND BLACK SHALES FROM OSSA-MORENA ZONE (MOCIÇOS MINE – ALANDROAL)

ANDRÉ CARVALHO

*Departamento de Geociências da Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora, R. Romão Ramalho 59, Évora, Portugal, a.flupe.carvalho@gmail.com*

SANDRO VICENTE

*Departamento de Geociências da Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora, R. Romão Ramalho 59, Évora, Portugal, sandrorvicente@gmail.com*

PAULA AFONSO, NOEL MOREIRA, MIGUEL MAIA, PEDRO NOGUEIRA

*Instituto de Ciências da Terra (ICT), Pólo de Évora, Departamento de Geociências da Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora, R. Romão Ramalho 59  
Évora, Portugal paula.afonso24@gmail.com, geo.noel.87@gmail.com, mcmaiageo@gmail.com, pnogas@gmail.com,*

JOANA RIBEIRO

*Instituto de Ciências da Terra (ICT), Pólo do Porto, Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, R. Sílvio Lima, Coimbra, Portugal, joanaribeiro@fc.up.pt*

VANESSA LARANJEIRA, DEOLINDA FLORES

*Instituto de Ciências da Terra (ICT), Pólo do Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, R. Campo Alegre 687, Porto, Portugal, vanessalaranjeira01@gmail.com, dflores@fc.up.pt*

**Resumo:** Este trabalho teve por objetivo a identificação e caracterização petrográfica do conteúdo em matéria orgânica de 8 amostras de rochas de idade Silúrica da sondagem SD4 realizada pelo Serviço de Fomento Mineiro na região do Alandroal (Mina dos Mociços). Os liditos e xistos negros do Silúrico da Zona de Ossa Morena são marcados pela presença de partículas de matéria orgânica dispersa, tendo a análise destas litologias permitido a identificação e descrição destas partículas, que ocorrem em maior abundância nas amostras de xistos negros. Os valores mais elevados de reflectância são obtidos na matéria orgânica identificada nos xistos negros (2.91%-4.51%). Estes valores poderão estar associados à relativa proximidade entre os xistos negros e a estrutura mineralizada principal. A circulação de fluidos hidrotermais associados ao transporte e deposição da mineralização é, possivelmente, a responsável pela maturação diferencial da matéria orgânica.

**Palavras-chave:** Mina dos Mociços; Xistos negros; Matéria orgânica; Caracterização petrográfica.

**Abstract:** This work aims for the identification and petrographic characterization of the organic matter content in 8 samples of Silurian rocks from the SD4 borehole, carried out by Serviço de Fomento Mineiro in the Alandroal region (Mociços Mine). The Silurian lydites and black shales of the Ossa-Morena Zone are rich in organic matter content. The analysis of these lithologies allow the identification and description of organic matter particles, which are abundant in the black shales samples. The higher reflectance values of the identified organic matter particles were obtained in the black shales samples (2.91%-4.51%). These values may be associated with the relative proximity

between the black schists and the main mineralized structure. The circulation of hydrothermal fluids associated with the transport and deposition of mineralization is, possibly, responsible for the differential maturation of organic matter.

**Key words:** Mociços Mine; Black shales; Organic matter; Petrographic characterization.

## 1 Introdução

A Mina de Mociços (Alandroal) localiza-se no Sector Estremoz-Barrancos da Zona de Ossa-Morena (ZOM), [10], e integrada por Oliveira (1986) na Faixa Metalogénica Sousel-Barrancos tendo em conta o seu potencial metalífero em cobre (Fig. 1A)[12]. A primeira referência à Mina dos Mociços (Fig. 1B) remonta a 1868, então designada de mina de cobre da “Herdade da Granja”, “Defesa da Granja” e “Ferrarias”. Posteriormente, a mina dos Mociços foi concessionada para exploração de cobre, com o nome “Mina de Cobre da Granja” pela Empresa Mineira do Rosário, Lda., que, em 1922, expandiu a sua área para Norte e Sul, com as concessões “Defesa da Granja nº 2” e “Defesa da Granja nº 3”, respetivamente (Vicente et al., 2017 para mais informação)[13].

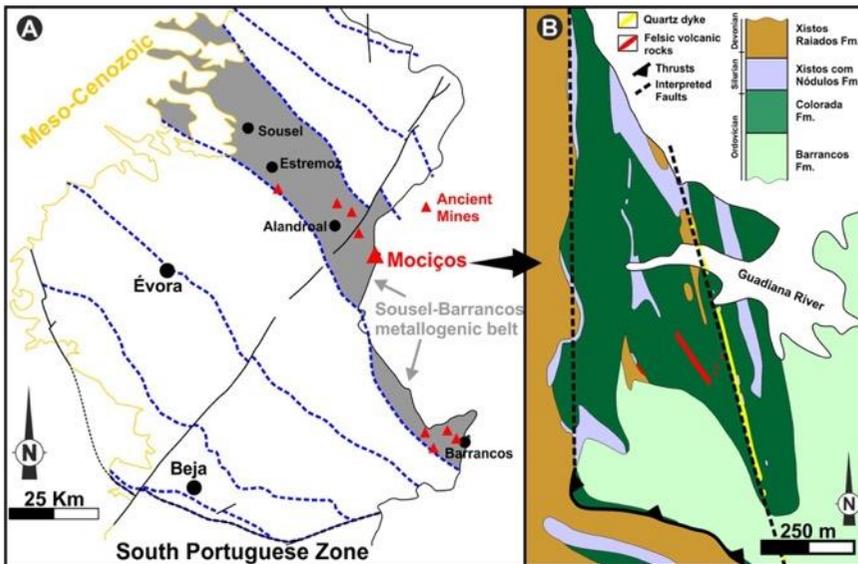


Figura 1 – Localização da Mina dos Mociços: (A) - Esquema representativo da Faixa Metalogénica Sousel-Barrancos (adaptado de Oliveira, 1986 e Mateus et al., 2013); (B) Mapa Geológico simplificado da Mina dos Mociços (Maia, *in prep*).

Este jazigo apresenta um carácter filoniano, tendo sido interpretado como um jazigo epitermal de cobre [6][7]. O filão principal apresenta uma estrutura subvertical, a fortemente inclinada para Este, de orientação geral NNW-SSE [8][9], caracterizado pela presença de quartzo, por vezes brechificado, e carbonatos associados a sulfuretos primários (calcopirite e pirite) em profundidade e (hidr-)óxidos de ferro e carbonatos de cobre à superfície [6][7][13]

A estrutura mineralizada instala-se em formações estratigráficas de idade Paleozóica (Fig. 1B), nomeadamente nas Formações da Colorada (Ordovícico), dos Xistos com Nódulos

(Silúrico) e dos Xistos Raiados (Devónico inferior) [10][11]. A formação de Xistos com Nódulos é caracterizada pela presença de xistos negros/cinzentos, por vezes grafitosos, intercalados com liditos e psamitos negros, raramente com nódulos [1].

O presente trabalho tem como principal objetivo a análise petrográfica da matéria orgânica em liditos e xistos negros silúricos associados à mineralização da Mina dos Mociços.

## 2 Amostragem e metodologia

Foram selecionadas 8 amostras de liditos e xistos negros atribuídas à Formação dos Xistos com Nódulos da sondagem SD4, realizada em 1982 pelo Serviço de Fomento Mineiro (Fig. 2). Para este estudo foram preparadas 8 secções polidas realizadas a partir de amostras representativas de liditos (#3 amostras – SD4-05A, SD4-06, SD4-07B) e xistos negros (#5 amostras – SD4-20, SD4-21, SD4-22, SD4-23 e SD4-24) (Figs. 2 e 3).

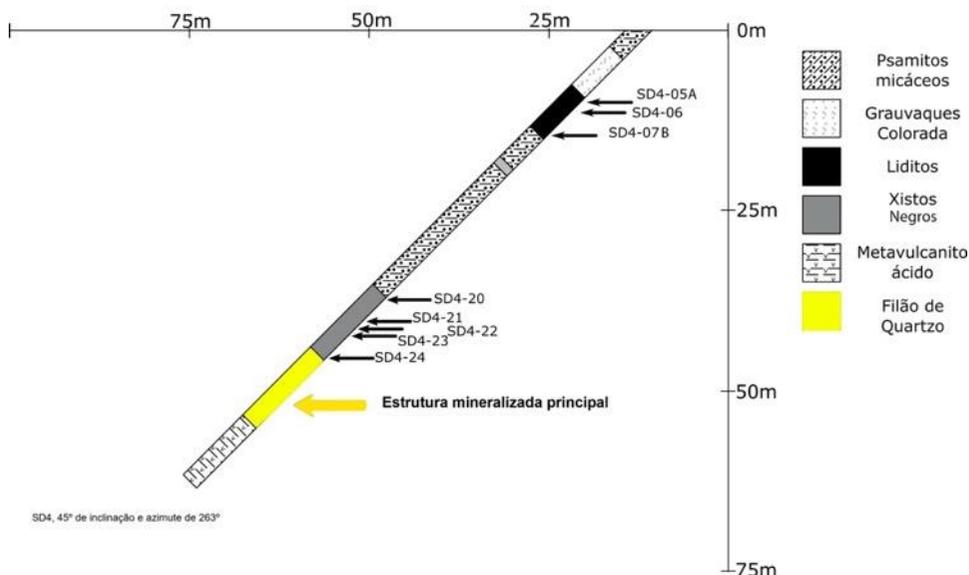


Figura 2 – Esquema representativo do log da sondagem SD4 realizada na Mina de Mociços, com 45° de inclinação e azimute de 263°, com a localização das amostras estudadas (adaptado de Vicente et al., 2017).

A análise petrográfica das amostras foi realizada no laboratório de mineralogia da Universidade de Évora com recurso a um microscópio ótico de reflexão, Zeiss Axio Imager.A2m, equipado com luz branca, objetivas de imersão em óleo, acoplado a um sistema de hardware (câmara-computador) e software Ueye (Versão: 4.20.0000). A refletância das partículas orgânicas (*vitrinite-like particles*), que é um indicador da maturação da matéria orgânica, foi determinada de acordo com a norma ASTM D7708-14 (2014)[2] no Laboratório de Petrografia Orgânica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

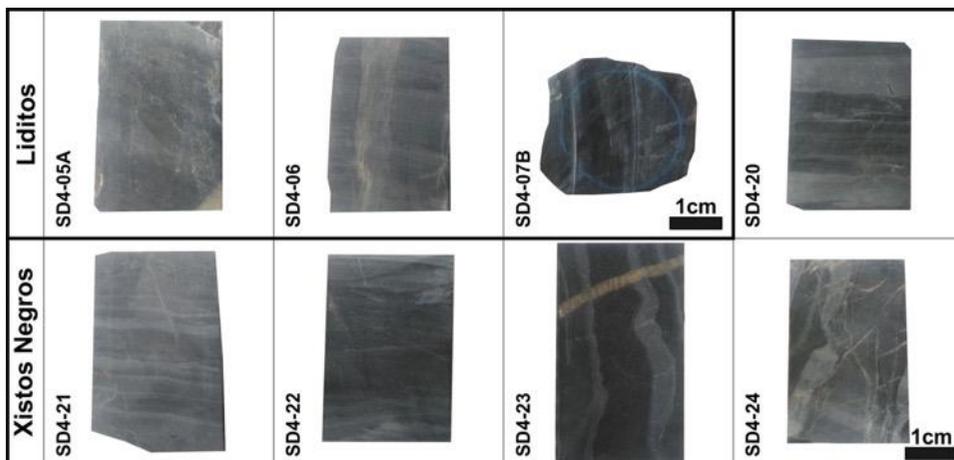


Figura 3 – 4-05 A, 4-06, 4-07 B – Taliskas representativas das amostras de liditos. 4-20, 4-21, 4-22, 4-23, 4-24 – Taliskas representativas das amostras de xistos negros.

### 3 Resultados

A Figura 4A mostra o aspeto representativo de uma amostra de lidito, onde é evidente o carácter mais silicioso, comparativamente com a amostra de xisto negro (Fig. 4D). As amostras de liditos apresentam raras e pequenas partículas de matéria orgânica dispersas na matéria mineral siliciosa, e por vezes, mais argilosa (Figs. 4B e 4C). Foi também detetada a presença pontual de óxidos de ferro e sulfuretos disseminados.

A Figura 4D mostra o aspeto geral de uma amostra de xisto negro, com carácter mais argiloso. Nestas amostras observa-se uma maior quantidade de partículas orgânicas, que apresentam forma alongada, do tipo de estruturas grafíticas do tipo *single flakes* (Figs. 4E e 4F)[4], por vezes associadas a carbonatos (Fig. 4F). Nestas amostras também se observaram sulfuretos e óxidos de ferro.

As partículas de matéria orgânica (*vitrite-like particles*) presentes nas amostras de liditos apresentam refletância variável entre 2,17% e 2,35% (Tabela 1). As partículas de matéria orgânica presentes nos xistos negros apresentam valores de refletância mais elevados, entre os 2,91% e 4,51% (Tabela 1). As amostras SD4-20 e SD4-21 apresentam os valores mais elevados de refletância, 4,51% e 4,28% respetivamente. Para a amostra SD4-06 não foi possível a identificação de partículas que permitissem a medição da refletância (Tabela 1).

### 4 Discussão e conclusão

As amostras representativas dos liditos, apresentam raras e pequenas partículas de matéria orgânica com refletância mais baixa, em comparação com as amostras de xistos negros que apresentam mais partículas de matéria orgânica, de maior dimensão e por vezes sob a forma de estruturas grafíticas do tipo *single flakes* e com valores de refletância da matéria orgânica (*vitrite-like particles*) mais elevado.

Os xistos negros apresentam valores de refletância mais elevados, em comparação com os liditos, e tal facto pode ser explicado pela proximidade desta litologia à estrutura

mineralizada principal (Fig. 2). A circulação de fluidos hidrotermais associados à instalação desta estrutura poderá ter causado o aumento da temperatura responsável pela maturação diferencial da matéria orgânica, provocando assim a maturação diferencial da matéria orgânica.

Dados preliminares de inclusões fluidas associadas à mineralização de cobre dos Mociços, revelam temperaturas máximas de homogeneização superiores a 200°C [5]. Estes dados são compatíveis com os valores mais elevados de refletância, que permitem estimar valores de cerca de 250°C para os xistos negros [3], bem como com a identificação de estruturas grafíticas do tipo single flakes nestas amostras [4].

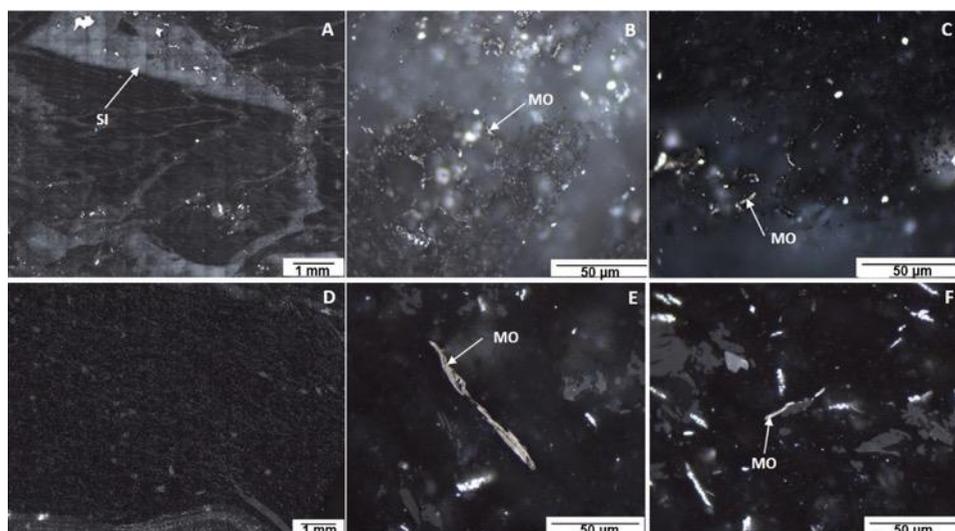


Figura 4 – A) Aspeto geral de amostra de lidito com carácter mais silicioso (SI). B) e C) Partículas de matéria orgânica (MO) em amostras de liditos. D) Aspeto geral de amostra de xisto negro com carácter mais argiloso. E) e F) Partículas de matéria orgânica (MO) em amostras de xistos negros.

Tabela 1 – Valores de refletância em partículas de matéria orgânica (*vitrinite-like particles*) das amostras estudada.

	Amostra	Profundidade (m)	Rm (%)	DP	N
<b>Liditos</b>	SD4-05A	10	2,35	0,444	3
	SD4-06	11	S	S	S
	SD4-07B	14	2,17	0,652	4
<b>Xistos negros</b>	SD4-20	38	4,51	0,226	11
	SD4-21	40	4,28	0,793	23
	SD4-22	41	3,60	0,703	14
	SD4-23	42	2,91	0,376	11
	SD4-24	44	3,40	0,609	7

Rm – Valor médio da refletância; DP – Desvio Padrão; N – Número de partículas medidas; S - sem medições.

## Agradecimentos

Este trabalho é financiado pela União Europeia através do FEDER, enquadrado no Programa ALENTEJO 2020 através do projeto "Modelos metalogénicos 3D da zona de

Ossa Morena: valorização dos recursos minerais do Alentejo" (ref: ALT20-03-0145-FEDER-000028). V. Laranjeira beneficia da bolsa de doutoramento financiada pela FCT (ref: SFRH/BD/137567/2018). Os autores agradecem o financiamento do Instituto de Ciências da Terra, através do contrato com a FCT (Referência: UID/GEO/04683/2013) e ao COMPETE (POCI-01-0145-FEDER-007690).

## Referências

1. Araújo, A., Piçarra Almeida, J., Borrego, J., Pedro J., Oliveira, J. T. (2013) – As Regiões Central e Sul da Zona de Ossa Morena. In: Geologia de Portugal, Volume I, Geologia Pré-mesozóica de Portugal, (Eds. Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. e Kullberg, J. C.), Escolar Editora, 509 – 549.
2. ASTM D7708-14 (2014) – Standard Test Method for Microscopical Determination of the Reflectance of Vitrinite Dispersed in Sedimentary Rocks. ASTM Intern., 10 p.
3. Barker, C.E., Pawlewicz, M.J. (1994) – Calculation of vitrinite reflectance from thermal histories and peak temperatures - a comparison of methods. In: Vitrinite reflectance as a Maturity Parameter. Applications and Limitations (Eds. Mukhopadhyay, P.K., Dow, W.G.), Symposium Series 570. American Chemical Society, Washington DC, 216-229.
4. Kwiecinska, B., Petersen, H. I. (2004) – Graphite, semi-graphite, natural coke, and natural char classification—ICCP system. *Int J Coal Geol* 57, 99-116.
5. Maia, M., Vicente, S., Nogueira, P. (2017) – Os fluídos associados às mineralizações de Cu de Mociços e Ferrarias. Resultados preliminares. Livro de actas do VII Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2017, Estremoz, 85-88.
6. Mateus, A., Matos, J.X., Rosa, C., Oliveira, V. (2003) – Cu-ores in quartz-carbonate veins at Estremoz-Alandroal and Barrancos-Sto Aleixo regions (Ossa-Morena Zone): a result of Late-Variscan hydrothermal activity. *Ciências da Terra (UNL)*, nº esp V, F90-F93.
7. Mateus, A., Munhá, J., Inverno, C., Matos, J.X., Martins, L., Oliveira, D., Jesus, A., Salgueiro, R. (2013) – Mineralizações no sector português da Zona de Ossa-Morena. In: Geologia de Portugal, Volume I, Geologia Pré-mesozóica de Portugal, (Eds. Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. e Kullberg, J. C.), Escolar Editora, 577-619.
8. Moreira, N., Vicente, S., Maia, M., Nogueira, P., Araújo, A. (2017) – Controlo estrutural de mineralizações de Cobre na Mina dos Mociços (Zona de Ossa-Morena); dados preliminares. Livro de actas VII Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2017, 61-64.
9. Moreira, N., Vicente, S., Maia, M., Oliveira, R., Nogueira, P., Borges, F., Caldeira, B., Araújo, A. (2018) – Mineralização de Cobre na Mina dos Mociços (Zona de Ossa-Morena); uma abordagem transversal para a sua caracterização. *Vulcânica*, 2018 (II) – volume especial do X Congresso Nacional de Geologia, 237-240.
10. Oliveira, J. T., Oliveira, V., Piçarra, J.M. (1991) – Traços gerais da evolução tectonoestratigráfica da Zona de Ossa-Morena, em Portugal: síntese crítica do estado actual dos conhecimentos. *Cad. Lab. Xeol. Laxe.*, 16: 221-250.
11. Oliveira, V. (1984) – Transversal Juromenha-Alandroal. *Cad. Lab. Xeol. Laxe*, 8, 339-346.
12. Oliveira, V. (1986) – Prospecção de minérios metálicos a sul do Tejo. *Geonovas*, 1(1-2), 15-22.
13. Vicente, S., Maia M., Araújo A., Matos, J. X., Nogueira, P. (2017) – Petrografia das alterações hidrotermais da Mina de Mociços. Estudo preliminar. Livro de actas VII Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2017., 85-88.

## SITE EFFECT IN ALGIERS AREA, ALGERIA

### *EFEITOS DE SÍTIO NA ÁREA DE ARGEL, ARGELIA*

SOUHILA CHABANE

*USTHB BP32 El-Alia 16111Bab Ezzouar, Alger  
Institute of Earth Science (ICT) University of Évora 7000 Évora Portugal  
chabanesouhila0823@gmail.com*

MOURAD BEZZEGHOUD

*Department of Physics (ECT) of University of Évora, and  
Institute of Earth Science (ICT) University of Évora 7000 Évora Portugal  
mourad@uevora.pt*

JOÃO FONTIELA

*Institute of Earth Science (ICT) University of Évora, 7000 Évora Portugal  
jfontiela@uevora.pt*

DJAMEL MACHAIN, EL-HADI OUBAICHE, RABAH BENSALEM

*CGS Rue Kaddour Rahim, Hussein Dey, Alger  
machanedjamel@yahoo.fr, eoubaiche@yahoo.com, rabah63@gmail.com*

**Resumo:** Argel, a principal capital da Argélia, está localizada no norte da Argélia. Uma parte da cidade de Argel, e outras ao redor, estão localizadas na Bacia de Mitidja. Do ponto de vista geológico, a bacia é caracterizada por formações quaternárias sedimentares assim, como por numerosas falhas que estabelecem as fronteiras Norte e Sul. Historicamente, esta região foi afetada por vários sismos que causaram danos consideráveis em parte, devido à amplificação dos movimentos fortes do solo (aceleração de 0,52 g em Dar el Beida durante o sismo de 2003). O estudo dos efeitos de sítio na cidade de Argel é baseado no método HVSR, com o objectivo de determinar as frequências de ressonância do solo e respectiva espessura.

**Palavras chave:** Ruído sísmico (HVSR), Efeitos de sítio, Bacia de Mitidja, Inversão, Modelo velocidades 1D, Argel.

**Abstract:** Algiers is located in the northern part of Algeria that comprises the capital and many other cities around and it is located on the Mitidja Basin. The basin is characterized by sedimentary quaternary formations and numerous faults that establish the North and South border. Historically, this region was affected by several earthquakes causing considerable damage by the amplification of strong ground motion (acceleration 0.52g at Dar el Beida during the earthquake of 2003) related with the sedimentary formations. The study of the site effects in the Algiers city is based on HVSR Method, in order to determine the frequencies of the soils and their thickness also.

**Keywords:** H/V Ambient noise, Site effect, Mitidja Basin, Inversion, 1D velocity model, Algiers.

## 1 Introduction

Algiers is historically connected to strong seismic activity (figure 1), eg, [1] [2] [3] [4] [5] [6], such as Boumerdes earthquake, May 21, 2003 and El Asnam 1980 [1] [7]. We have also a large soil amplification [8], due to the sedimentary quaternary formations that fill Mitidja basin [9] [10], and the number of faults that delimit it [11] [12] [13] [14] [15].

In the project of extension of Algiers city and to minimize the risks into the infrastructure and human life caused by site effects [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22], multiple studies were carried by academic and governmental institutions have been realized. The outputs of these studies were used to develop regulation to increase building resilience. Data used in this research are present in Table 1 which expresses the regions of study, the type and the number of the tests performed.

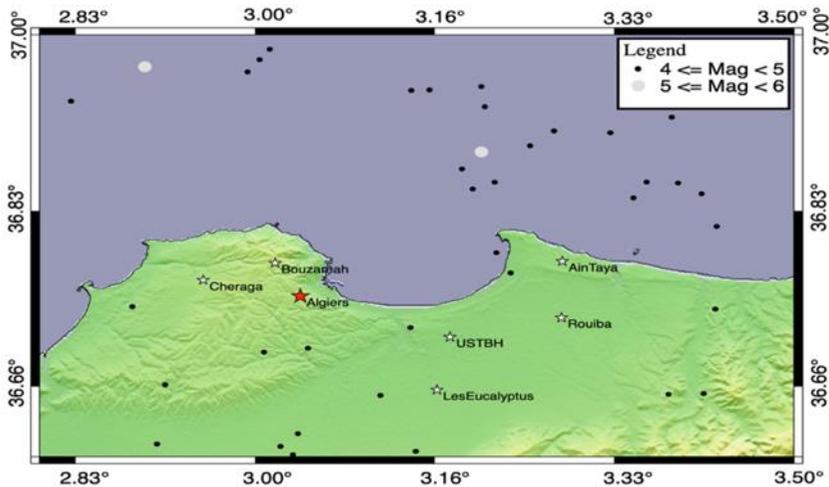


Figure 1. Map with earthquakes distribution (topography source: [33], available from <http://srtm.csi.cgiar.org>)

Table 1. Study regions HVSR: horizontal to vertical spectral ratios, MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), and SPT (Standard Penetration Test). Zone 7 is the studied area in this paper [23].

	Number of tests performed					
	HVSR	Electric Imaging	Seismic refraction	MASW	SPT	Down Hole
ZONE 1: Sablettes	203	2	-	-	1	1
ZONE 2: USTHB	75	-	-	-	-	-
ZONE 3: Dar El Beida	25	1	1	1	1	1
ZONE 4: El Hamiz	25	2	10	-	-	2
ZONE 5: Bouinan	38	-	-	-	-	-
ZONE 6: Mitidja N-S	24	-	-	-	-	-
ZONE 7: Algiers	15	-	-	-	50	50

## 2 Methodology and data acquisition:

Our study is mainly based on the HVSr (horizontal-vertical spectral ratio) method, which is based on the ambient noise recorded at a single site by a three-component seismometer. There is empirical evidence, supported by numerical simulations, that the maximum HVSr occurs at the fundamental resonance frequency of the site, provided that there is a strong impedance contrast at depth [24] [2] [25] [26] [27] [28] [29] [30].

To increase the effectiveness and accuracy of this method we follow the criteria and recommendations of [31] and [32]. The digitizer used was a City Shark <sup>TM</sup>, equipped with a three-component Lennartz-5 seconds seismometer. Data acquisition had the duration of 15 minutes for each recording at 200 sampling-per-second. Then, data was processed with Geopsy software (www.geopsy.org). Figure 2 show some H/V curves. For our study we use the fifteen points of acquisition from **zone 7 Algiers** [23].

To invert the result of the H/V curve, we used a priori model based on geotechnical data (table 2). From these data we established  $V_p$ ,  $V_s$ , the thickness of the layers, and the densities of the layers [23]. From the literature, we take  $Q_p$  and  $Q_s$  factors.

Table 2. 1D subsurface models obtained from the inversion of HVSr (point A1). Last line of the model is the half space.

$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	RHo	Thickness (m)	$Q_p$	$Q_s$
450	250	1.8	15.20	10	7
1000	400	1.98	17.20	12	9
1400	1000	2.01	10	18	13
3400	1200	2.09	11	22	15
4600	1700	2.1	25	27	18
8000	5000	2.5	999	999	999

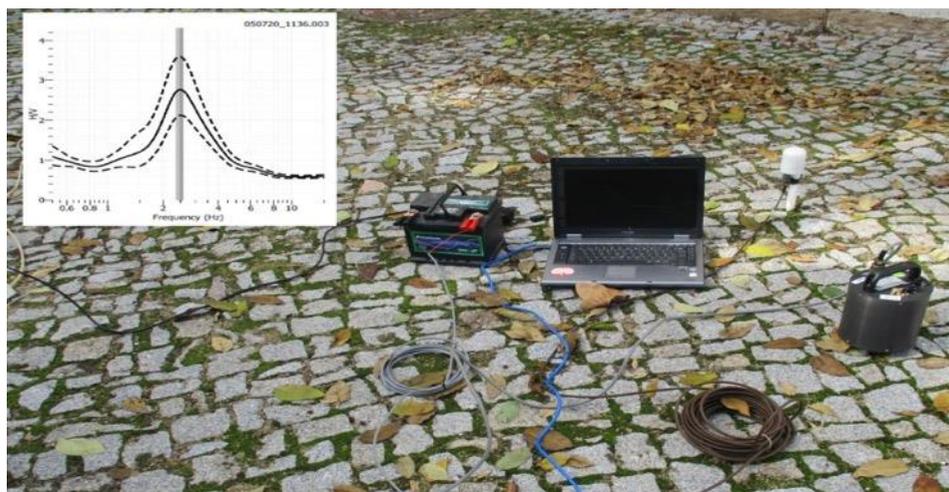


Figure 2. Example of an acquisition system used to collect the data. The insets show an example of a H/V curve of point A37.

### 3 Result and interpretation:

We notice that the values of the amplitude peaks range from 0.64 Hz to 12.64 Hz, with standard deviations ranging from  $\pm 0.2$  Hz to  $\pm 0.75$  Hz. For amplitudes, the values range from 0.55 to 6.52 with standard deviations ranging from  $\pm 0.2$  to  $\pm 0.4$ . The summary of the results is presented below in table 3.

After processing data with Geopsy we invert HVSR to obtain 1D velocity model below each site. For that we used the code developed by [34] [35] [36]. From the 1D subsurface model, we infer the transition from the sedimentary layer to the crystalline (Table 3) based on the criteria that layers with  $V_s \geq 800$  ms-1 behaves as compact rock. The table 4 presents the results of the thickness obtained after the inversion of the data. Considering the low quality of data obtained on points A4, A28, A41, we could not invert these three points. The thickness of the different formation varies from a few meters (A9: 9 m) to less than one hundred meters (A13: 81 m).

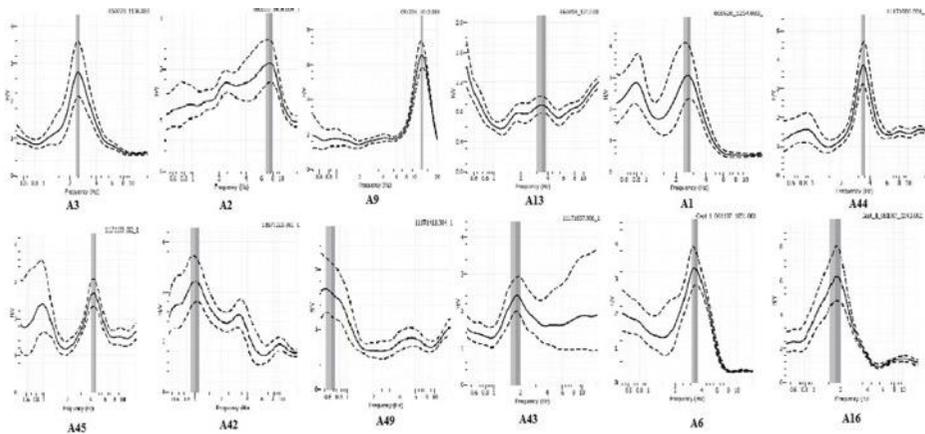


Figure 3. H / V Curve. We noticed that the low frequency peaks (between 0, 64 and 2 Hz) are located in the middle part of the study area, and the high frequency peaks are located in the extreme North West part of the basin

Table 3. Summary of the results obtained in the different sites

Station name	Lat (° N)	Long (° E)	Frequency amplitude peaks (Hz)	HVSR
A1	36,790978	2,900023	2,6	3,07
A3	36,78825	2,944365	4,3	2,28
A4	36,797041	2,987974	1,35	1,95
A6	36,745338	2,968771	3,35	3,29
A9	36,795633	3,05144	12,64	6,25
A13	36,795906	3,000349	1,56	4,03
A16	36,781778	2,97917	1,78	6,1
A28	36,739784	3,127546	3,44	0,89
A37	36,716293	3,134113	2,47	2,76
A41	36,735968	3,178445	1,94	0,55
A42	36,739633	3,232789	1,01	4,41

A43	36,707562	3,184593	1,77	2,39
A44	36,715779	3242403	3,37	3,79
A45	36,694278	3,238383	4,35	4,35
A49	36,745817	3,186583	0,64	1,62

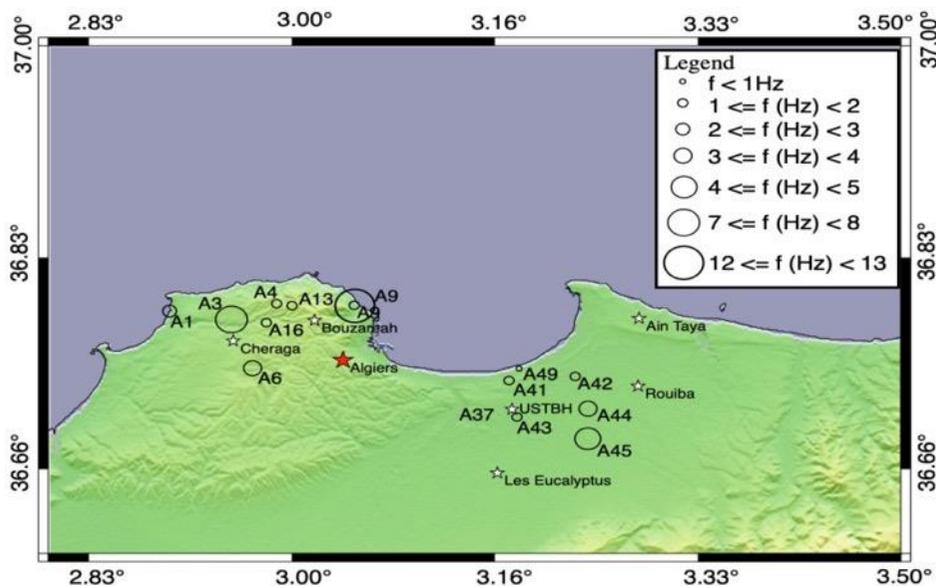


Figure 4: Map with the frequency distribution (topography source: [33], available from <http://srtm.csi.cgiar.org>)

Table 4: Results obtained in terms of depth between the soils and the rock after the moralization of soils with the geographic coordinate's type degree decimal points of acquisition

Station name	Lat (° N)	Long (° E)	H (m)
A1	36,790978	2,900023	73
A3	36,78825	2,944365	67
A4	36,797041	2,987974	-
A6	36,745338	2,968771	21
A9	36,795633	3,05144	9
A13	36,795906	3,000349	81
A16	36,781778	2,97917	37
A28	36,739784	3,127546	-
A37	36,716293	3,134113	11
A41	36,735968	3,178445	-
A42	36,739633	3,232789	32,9

A43	36,707562	3,184593	15
A44	36,715779	3242403	17
A45	36,694278	3,238383	13
A49	36,745817	3,186583	25

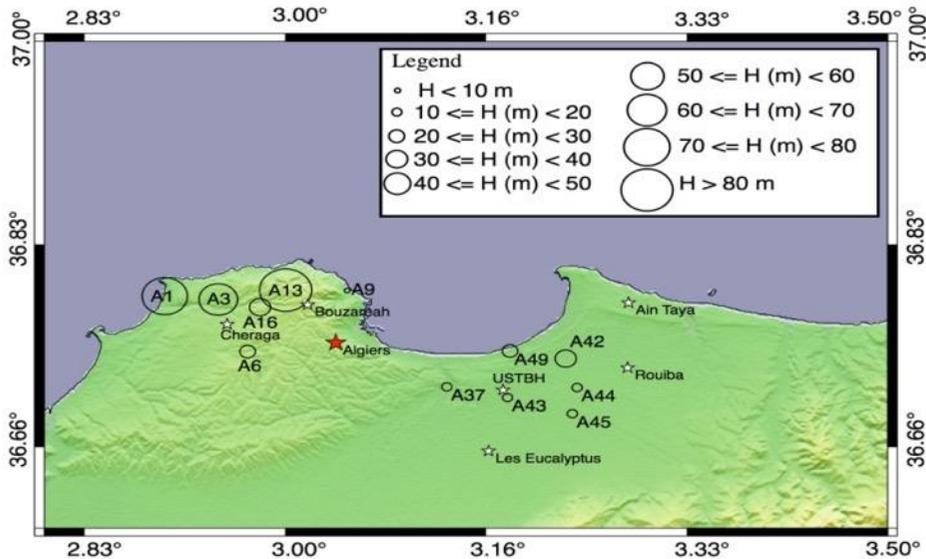


Figure 5: Map Showing Thickness Distribution (topography source: Jarvis et al., 2008, available from <http://srtm.csi.cgiar.org>)

#### 4 Discussion and conclusion:

The analysis of the results obtained from the H / V curves and the inversion of the HVSR results (determine the layer thicknesses in the Algiers region and thus delimited the transition of the sedimentary layer to the crystalline one) allowed us to define 3 distinguished zones in the study area:

- The first one with the frequency range varies from 0, 64 to 2 Hz in the middle part of our study area, precisely at the North-East part of the basin of Mitidja including the areas of Dar el Beida, Bab Ezzouar, Rouiba, Mouhamadia et kouba with a thickness ranging from 21 to 37 meter, and the upstream party of Bouzaréah with a big thickness ranging from 67 to 81 meter. This result was confirmed before in previous work, Chabane et al., 2016 and 2017, and Bensalem Magister thesis in 2006, also in the rapport of JICA and CGS, 2006 for the study of seismic microzoning of the Algiers city.
- The second area with a frequency going from 2 to 5Hz located in the lower part of our study area, exactly the southern part of the Mitidja basin represented by the area of Les Eucalyptuses, Braki, Birkhadm and Cheraga, and Ain el Benian, with an average thickness

value going from 11 to 17 meter. This result coincides with the result obtained in Magister thesis Djerot, 2009.

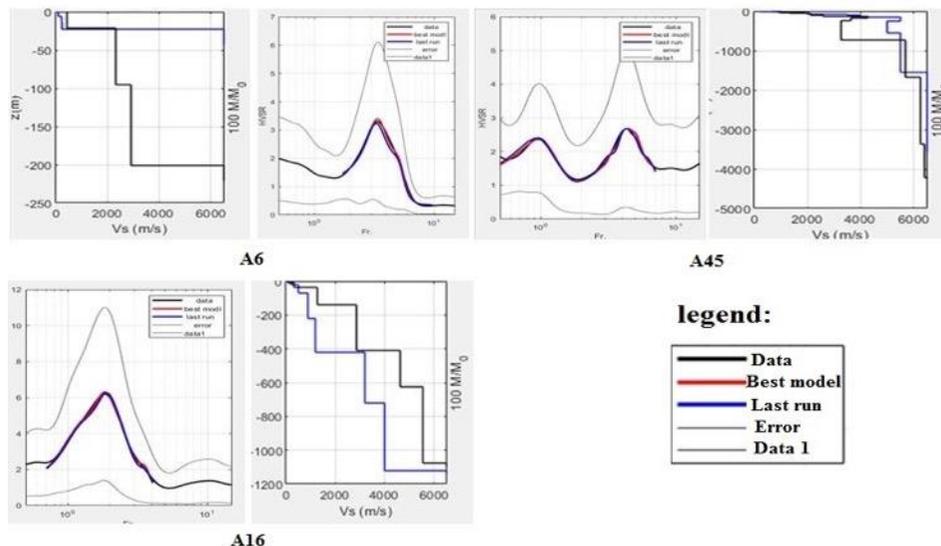


Figure 6: H/V curves and 1D Vs subsurface model of some points of Algiers

-The last one is above 8 Hz located only in the coastal part of the Algiers city in the region of Bab el Oued. The same result was obtained in the works of Machane et al., 2008. The assessment of site effects in a city like Algiers with more than 2 500 000 people is a valuable contribute to the seismic hazard assessment and mitigation of the seismic risk.

## References

1. Ayadi, A., Bezzeghoud, M. (2015). Seismicity of Algeria from 1365 to 2013: Maximum observed intensity map (MOI2014). *Seismological Research Letters*, 86(1), 236-244.
2. Bonilla LF, Steidl JH, Lindley GT, Tumarkin AG, Archuleta RJ (1997) Site amplification in San Fernando Valley, California: variability of site effect estimation using the S-wave, coda and H/V methods. *Bull Seismol Soc Am* 87:710–730.
3. Bonnefoy-Claudet S, Cornou C, Bard PY, Cotton F, Moczo P, Kristek J, Fah D (2006) H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulations. *Geophys J Int* 167:827–837.
4. Meunier P, Hovius N, Haines JA (2008) Topographic site effects and the location of earthquake induced landslides. *Earth Planet Sci Lett* 275(3–4):221–232.
5. Kibboua A, Farsi MN, Chatelain JL, Guillier B, Bechtoula H, Mehani Y (2008) Modal analysis and ambient vibration measurements on Mila-Algeria cable stayed bridge. *Struct Eng Mech* 29(2):171–186.
6. Bensalem R, Chatelain JL, Machane D, Oubaiche EH, HellelM, Guillier B, DjeddiM, Djadia L (2010) Ambient vibration techniques applied to explain heavy damages caused in Corso (Algeria) by the 2003 Boumerdes earthquake: understanding seismic amplification due to gentle slopes. *Seismol Res Lett* 81(6):928–940.

7. Bezzeghoud, M., Ayadi, A., Caldeira, B., Fontiela, J., & Borges, J. F. (2017). The largest earthquakes in Algeria in the modern period: The El Asnam and Zemmouri-Boumerdès faults. *Física de la Tierra*, 29, 183-202.
8. Laouami N, Slimani A (2013) Earthquake induced site effect in the Algiers–Boumerdes region: relation between spectral ratios higher peaks and observed damage during the May 21st Mw 6.8 Boumerdes Earthquake (Algeria). *Pure Appl Geophys* 170:1785–1801.
9. Glangeaud L (1932) Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger. - Imprimerie de l'Université Y. Cadoret.
10. Aymé A (1964) Carte géologique au 1/50 000 d'Alger. Feuille n° 23, Service de la Carte Géologique de l'Algérie.
11. Philip H, Meghraoui M (1983) Structural analysis and interpretation of the surface deformations of the El Asnam Earthquake of October 10, 1980. *Tectonics* 2(1):17–49.
12. Meghraoui M (1988) Géologie des zones sismiques du nord de l'Algérie. Paléosismologie, tectonique active et synthèse sismotectonique. Thèse. Sci. Univ. Paris VI, 356 p.
13. Yielding, G., Ouyed, M., King, G. C. P., & Hatzfeld, D. (1989). Active tectonics of the Algerian Atlas Mountains—evidence from aftershocks of the 1980 El Asnam earthquake. *Geophysical journal international*, 99(3), 761-788.
14. Bounif A, Dorbath C, Ayadi A, Meghraoui M, Beldjoudi H, Laouami N, Frogneux M, Slimani A, Alasset PJ, Kharroubi A, Ousadou F, Chikh M, Harbi A, Larbes S, Maouche S (2004) The 21 May 2003 Zemmouri (Algeria) Earthquake Mw 6.8: relocation and aftershock sequence analysis. *Geophys Res Lett* 31(L19606):1–4.
15. Meghraoui M, Maouche S, Chemaa B, Cakir Z, Aoudia A, Harbi A, Alasset PJ, Ayadi A, Bouhadad Y, Benhamouda F (2004) Coastal. uplift and thrust faulting associated with the Mw = 6.8 Zemmouri (Algeria) earthquake of 21 May, 2003. *Geophys Res Lett*:31(19). doi:10.1029/2004GL020466.
16. Machane D, Bouhadad Y, Cheikh Lounis G, Chatelain JL, Oubaiche EH, Abbes K, Guillier B, Bensalem R (2008) Examples of geomorphologic and geological hazards in Algeria. *Nat Hazards* 45:295–308.
17. Machane D, Chabane S, Bensalem R, Oubaiche EH, Cheikh Lounis G, Moulouel H, Hellel M, Chatelain JL (2016) Risques Naturels en Algérie. MoMIES B Mediterranean School on Modeling & Multiscale Imagery in Earth sciences^ 10th–19th May, Algiers.
18. Guemache MA, Machane D, Beldjoudi H, Gharbi S, Djadia L, Benahmed S, Ymmel H (2010) On a damaging earthquake induced landslide in the Algerian Alps: the March 20, 2006 Laalam landslide (Babors chain, northeast Algeria), triggered by the Kherrata earthquake (Mw = 5.3). *Nat Hazards* 54:273–288.
19. Guemache MA, Chatelain J-L, Machane D, Benahmed S, Djadia L (2011) Failure of landslide stabilization measures: the Sidi Rached viaduct case (Constantine, Algeria). *J African Earth Sci* 59(2011): 349–358.
20. Bougdal R, Larriere A, Pincent B, Panet M, Bentabet A (2013) Les glissements de terrain du quartier Belouizdad, Constantine, Algérie. *Bull Eng Geol Environ* 72:189–202.
21. Chabane S, Machane D, Mariscal A, Oubaiche E-H, Bensalem R, Gherboudj F (2016) Contribution du Bruit Vibratoire Ambiant dans l'Analyse des Aléas Géotechniques (Site Pilote à Dar El Beida, Bassin de la Mitidja, Alger). MoMIES Mediterranean School on Modeling & Multi - scale Imagery in Earth sciences^, 10th - 19th May, Algiers.

22. Chabane, S., Machane, D., Tebbouche, M. Y., Khaldouï, F., Oubaiche, E. H., Bensalem, R., & Mariscal, A. (2017). Ambient seismic vibration analysis and ground characterization in the vicinity of Algiers seismic zone. *Arabian J. of Geosc.*, 10(3), 69.
23. JICA and CGS (2006) *Microzonage Sismique d'Alger*. Final report, volume2. Oyo International Corp. Nippon Koei Co., Ltd.
24. Lermo J, Chavez-Garcia FJ (1994) Site effect evaluation at Mexico City: dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records. *Soil Dyn Earthq Eng* 13(6):413–423.
25. Bour M, Fouissac D, Dominique P, Martin C (1998) On the use of microtremor recordings in seismic microzonation. *Soil Dyn Earthq Eng* 17:465–474.
26. Bard PY (1999) Microtremor measurements: a tool for site effect estimation, paper presented at Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, IASPEI/IAEE Joint Working Group on ESG, Yokohama, Japan.
27. Luzon F, Al Yuncha Z, Sanchez-Sesma FJ, Ortiz-Aleman C (2001) A numerical experiment on the horizontal to vertical spectral ratio in flat sedimentary basins. *Pure Appl Geophys* 158-12:2451–2461.
28. Woolery, E. W., & Street, R. (2002). 3D near-surface soil response from H/V ambient-noise ratios. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(9-12), 865-876.
29. Yuncha, Z., Luzon, F., Posadas, A., Martin, J., Alguacil, G., Almendros, J., & Sanchez, S. (2004). The use of ambient seismic noise measurements for the estimation of surface soil effects: The Motril City case (southern Spain). *Pure and Applied Geophysics*, 161(7), 1549-1559.
30. Haghshenas E, Bard PY, Theodulidis N and the SESAME WP04 Team (2008) Empirical evaluation of microtremor H/V spectral ratio. *Bull Earthq Eng* 6:75. doi:10.1007/s10518-007-9058-x.
31. SESAME project (2004) Guidelines for the implementation of the H/ V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation. European Commission— Research General Directorate Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME, report D23.12, 62 pp.; <http://SESAME-fp5.obs.ujf-grenoble.fr>
32. Chatelain JL, Guillier B, Cara F, Duval AM, Atakan K, Bard PY, the WP02 SESAME team (2008) Evaluation of the influence of experimental conditions on H/V results from ambient noise recordings. *Bull Earthq Eng* 6:33–74.
33. Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2008, Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>.
34. Bignardi, S.; Fedele, F.; Santarato, G.; Yezzi, A. J.; Rix, G. J. (2013). Surface waves in laterally heterogeneous media. *Journal of engineering mechanics*. Vol. 139; p. 1158-1165, ISSN: 0733-9399, DOI: 10.1061/(ASCE)EM.1943-889.0000566.
35. Bignardi, S.; Mantovani, A.; Abu Zeid, N. (2016). OpenHVSr: imaging the subsurface 2D/3D elastic properties through multiple HVSr modeling and inversion. *Computers & Geosciences*.
36. Bignardi, S. (2017). The uncertainty of estimating the thickness of soft sediments with the HVSr method: A computational point of view on weak lateral variations. *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 145, p. 28-38. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2017.07.017.
37. Bensalem R, (2006) Memory of MAGISTER entitled experimental and numerical investigation of the effects of sites, order n °: 22/2006-M / S.T
38. Djeroit, 2009 Memory of MAGISTER entitled Study of the seismogenic faults of the Algerian and soil behavior following a seismic cause by these faults, university of Boumerdès

# **TERRA; UM PLANETA DINÂMICO: A ESTRUTURA INTERNA DA TERRA**

MODELOS DIDÁTICOS COMO RECURSO PARA A COMPREENSÃO DAS GEOCIÊNCIAS

*EARTH; A DYNAMIC PLANET: THE INTERNAL STRUCTURE OF THE EARTH*

*DIDACTIC MODELS AS A RESOURCE FOR UNDERSTANDING OF THE GEOSCIENCES*

VÂNIA SILVA

*Departamento de Física, Universidade de Évora, Évora  
Portugal, vjcsilva@gmail.com*

**Resumo:** Desde maio de 2007, que o Centro Ciência Viva de Estremoz (CCVEstremoz) tem como principal objetivo a promoção e a divulgação da cultura científica e tecnológica. Tendo como tema principal as Geociências, está integrado na rede nacional de Centros de Ciência e direcionado para todos os tipos de público que o visita. Terra; um Planeta dinâmico é uma das suas exposições permanentes, constituída por vários módulos interativos e expositivos que visam ajudar a compreender a geodinâmica externa e interna do planeta Terra. A sua componente didática torna-se uma ferramenta de imprescindível recurso a modelos que visam tornar as fronteiras do conhecimento mais ténues.

**Palavras-chave:** CCVEstremoz, Estrutura Interna da Terra, Modelo Químico, Modelo Físico.

**Abstract:** Since May 2007, the Centro Ciência Viva of Estremoz (CCVEstremoz) has as its main objective the promotion and dissemination of scientific and technological culture. Having as its main theme the Geosciences, it is integrated in the national network of Science Centers and directed to all the types of public that visit it. Earth; a dynamic Planet is one of its permanent exhibitions, made up of several interactive and exhibition modules that help to understand the external and internal geodynamics of the planet Earth. Its didactic component becomes a tool of indispensable resource to models that aim to make the frontiers of knowledge more tenuous..

**Key words:** CCVEstremoz, Internal Structure of the Earth, Chemical Model, Physical Model.

## **1 Introdução**

O Centro Ciência Viva de Estremoz (CCVEstremoz), situado na cidade de Estremoz, resulta de uma parceria entre o Ministério da Ciência e da Tecnologia, a Universidade de Évora e a Câmara Municipal de Estremoz. Sendo inaugurado a 27 de maio de 2005 integra, atualmente, a rede nacional de Centros Ciência Viva e tem como objetivo primordial a divulgação da cultura científica e tecnológica.

A rede nacional de Centros Ciência Viva apresentam-se como espaços privilegiados na educação não-formal, permitindo aos visitantes a possibilidade de estimular o seu espírito crítico e a sua curiosidade de forma livre.

Dentro deste conceito, o CCVEstremoz apresenta várias exposições interligando vários temas das Geociências. A exposição permanente – Terra; Um Planeta dinâmico – foi concebido na perspetiva da compreensão da complexa relação entre os processos associados à dinâmica interna e externa do Planeta Terra. Esta exposição é constituída por

vários módulos interativos e expositivos, a maioria dos quais concebidos ou adaptados para o entendimento dos processos geodinâmicos quer externos quer internos, tais como, sismos, vulcões, erosão/meteorização, tectónica de placas e formação da Terra. Assim sendo, do núcleo de módulos presentes neste centro destaca-se os modelos didáticos sobre a estrutura interna da Terra, permitindo que sejam abordadas estas e outras questões de uma forma simples e objetiva.

Apesar de ser um Centro vocacionado para a área das Ciências da Terra, a preocupação de explicar a inter-relação entre os processos leva a que os conceitos abordados não se limitem às temáticas tradicionalmente associadas à Geologia, mas também, por exemplo, à Física, Biologia e Química [1].

A Terra surge então como um sistema profundamente dinâmico caracterizado por uma enorme inter-relação entre os processos que aqui ocorrem. [2].

## **2 Uma (muito) breve nota histórica...**

Em 79 a.C, Plínio-o-Novo havia descrito pormenorizadamente a grande erupção do Vesúvio, que destruiu Pompeia. Já em 132 d.C, Zhang Heng apresentou o que muitos historiadores consideram ser sua invenção mais expressiva, o primeiro sismógrafo (Zhang acreditava que os sismos eram causados pelo vento e pelo ar).

No início do século VI, muitas dúvidas permaneciam sobre como funcionaria a Terra, considerada como o centro do Universo. Estas dúvidas prolongar-se-iam nos séculos seguintes, tendo as descobertas marítimas (entre os séculos XV – XVII) um papel muito importante para o aumento do conhecimento sobre o Planeta, revelando a existência de mais continentes e habitantes em diferentes áreas do planeta [3]. O primeiro filósofo a descrever o interior da Terra, foi Descartes, em 1644. Além desta descrição, apresenta também uma explicação para a sua formação. O núcleo terrestre seria constituído por matéria solar e revestido por diversas camadas. A camada externa, que se encontrava instável, foi “seca pelo sol” e fraturou [3]. A inclinação em que se encontravam os fragmentos provenientes desta fraturação permitiu a saída de água de camadas subjacentes, formando assim os oceanos e continentes [3]. Uns anos mais tarde, em 1665, Kircher sugere uma outra representação da Terra. Esta permitiria explicar a origem das erupções vulcânicas, baseadas numa Terra gelada que possuiria um fogo central [3]. Esta atividade interna seria então manifestada pela ocorrência de vulcões na superfície. Muitos modelos do interior da Terra foram surgindo desde então, O trabalho pioneiro na interpretação dos processos geológicos, no século XVIII, vem de James Hutton, sendo considerado o pai da geologia moderna.

No final do século XVIII e início do século XIX, a geologia estabeleceu-se como um ramo da ciência e o estudo da estrutura interna da Terra tornou-se mais competente [3]. A atualização dos modelos começou a surgir à medida que vários outros fatores foram tidos em consideração: temperatura e o estado físico dos materiais. Em 1839, Hopkins, acrescenta mais um fator importante: a pressão. Em que esta influenciaria a temperatura de fusão das rochas.

Alfred Wegener, em 1912, propõe a Teoria da Deriva Continental.

Atualmente, o desenvolvimento de sismologia e outras áreas científicas, foi um passo de gigante para a compreensão dos aspetos físicos da estrutura interna da Terra.

### 3 Modelos como recursos didáticos no estudo das geociências

O conhecimento da estrutura interna da Terra provém de inúmeros dados de trabalhos de investigação nas mais diversas áreas [4].

Com base nos métodos de estudo de observação direta e indireta da Terra, pode-se organizar as camadas terrestres de acordo com as suas propriedades físico-químicas. Surgem assim dois modelos para o seu estudo: modelo físico e modelo químico [4].

Na exposição permanente do CCVEstremoz, existem 2 módulos que representam estes modelos, tal como como mostra a figura 1.



Figura 1A e B: Modelo químico e modelo físico, exposição *Terra; um Planeta Dinâmico*, no CCVEstremoz

O modelo químico (figura 1A) é representado por uma esfera central, seguida de duas camadas concêntricas com diferentes espessuras: núcleo, manto e crosta respetivamente. A acompanhar estas camadas, encontram-se três amostras de rochas: granito, peridotito e meteorito. A sua função é representar, no geral, cada uma das camadas anteriores, mais precisamente a sua constituição química. Com a ajuda deste modelo, pode-se explorar os métodos de estudo e observação do planeta Terra, destacando-se os afloramentos rochosos, vulcanismo, xenólitos presentes em magmas, estudos de outros corpos celestes em comparação com o que possivelmente poderíamos encontrar no núcleo terrestre, efeito pressão/temperatura/profundidade. Perceber porque aparecem nódulos bem desenvolvidos de olivinas numa rocha ígnea e o porquê de estar associada a possíveis magmas mantélicos, ou porque se recorre a um meteorito férrico para se representar a constituição química do núcleo, são algumas das questões que podem ser aqui abordadas. Este módulo é complementado com uma tabela periódica, que se encontra à sua volta (figura 1A).

A representação do modelo físico (figura 1B) é feita através da divisão das camadas consoante as suas propriedades físicas e a sua temperatura. Há medida que vamos colocando a nossa mão, nas camadas, podemos sentir o aumento da temperatura e contactar com uma representação aproximada do comportamento físico da mesma.

Estes modelos são construídos com base da propagação das ondas sísmicas no interior da Terra que permitem distinguir camadas sólidas, viscosas e líquidas, dividindo assim o interior em litosfera (camada rígida que inclui a crosta e a porção rígida do manto, representada por um fragmento de rocha e encontra-se fria), astenosfera (camada subjacente à litosfera, constituída por material parcialmente fundido, representada por um “plástico”), mesosfera (camada rígida que inclui parte do manto superior e do manto inferior, representada por um fragmento de rocha), núcleo externo (a única camada líquida, sendo neste modelo representada por uma luva) e o núcleo interno (camada sólida, voltando novamente a ser representada por um fragmento de rocha) [5].

### 3.1 Ondas Sísmicas

Segundo Volgyesi [6], devido aos processos tectónicos que ocorrem em várias partes da Terra, a energia elástica é acumulada nas rochas. Quando esta energia atinge o limite de rutura, ocorre a sua libertação sob a forma de um sismo em que a energia se propaga na forma de ondas.

Podemos agrupar estas ondas em dois tipos: ondas de volume (ou por vezes também denominadas de profundidade), designadas ondas Primárias (P) e ondas Secundárias (S) e ondas superficiais (Love e Rayleigh – L e R respetivamente).

Em complementação ao modelo físico, no CCVEstremoz consegue-se simular a propagação das ondas sísmicas, com o recurso a uma máquina de ondas. Esta mostra, com o recurso a uma pequena agulha que bate na superfície da água, como se podem comportar os diferentes tipos de ondas. Mostra ainda a frequência de ondas - número de ondas por segundo que se originam na superfície da água (figura 2). Pode ainda explora-se o efeito da amplitude da onda.



Figura 2: Máquina de ondas

### 3.2 Como distinguimos os tipos de ondas?

A forma como muitas vezes é descrita a percepção de um sismo é caracterizá-lo como um barulho semelhante à “aproximação de um camião”.

No entanto, existem aparelhos específicos que são colocados no terreno para fazer a captação de ondas sísmicas – estação sísmica (que normalmente são constituídas por um sismómetro e um acelerómetro). Esta informação é então enviada para uma central de controlo sísmico, sendo recebida pelo sismógrafo e registada num sismograma.

No caso do modelo do CCVEstremoz, quando se salta, a vibração é originada na superfície (chão), e captada pelo simulador (com uma pequena estrutura leve, colocada à superfície de uma tina com detergente da loiça), como representado na figura 3. O registo sísmico que aparece no monitor é (apenas) de ondas superficiais, mas permite explorar questões sobre magnitude, intensidade sísmica, epicentros, hipocentros, réplicas, assim como, os processos que podem estar na origem de um sismo.



Figura 3: Estação sísmica.

Aliado a estes módulos, existe um protótipo de um modelo desenvolvido pelo CCVEstremoz em parceria com o Centro de Geofísica da Universidade de Évora, baseado num modelo mecânico proposto por Burridge e Knopoff (modelo B-K, 1967), e que possibilita a produção de ciclos de acumulação/tensão compatíveis com a teoria do ressalto elástico [7]. À semelhança do modelo B-K, o protótipo é constituído por um tapete rolante, em que a velocidade do mesmo pode ser regulada. Sobre este tapete é colocado um bloco ligado através de uma mola que acumula tensão ao longo do tempo e mediante o movimento do tapete.

A principal característica didática do protótipo é o facto de permitir uma explicação visual do modelo do ressalto elástico.

Outros assuntos podem ser abordados nestes modelos, como por exemplo o gradiente geotérmico, a existência das descontinuidades no interior da Terra marcadas pelas variações bruscas nas velocidades das ondas sísmicas quando atingem diferentes profundidades (separação de materiais com diferentes composições e propriedades), a ocorrência das correntes de convecção originadas pela deslocação/movimentação lenta de material provocado pela diferença de densidade e temperatura, assim como a abordagem de dados mais recentes sobre o sentido de movimentação destas correntes [8], entre outras questões que possam surgir durante a visita.

## 4 Considerações finais

O recurso a modelos didáticos torna-se assim uma ferramenta fundamental que permite uma explicação visual com uma aproximação de como serão, no que toca às características físico-químicas, as camadas do interior da Terra.

Desta forma, o CCV Estremoz cumpre assim, o seu papel de “transmitir” ciência a todo público que o visita, mostrando como é que funciona o Planeta Terra. Esta divulgação é interativa podendo cada visitante tocar, experimentar e descobrir o planeta e a sua dinâmica.

## Referências

1. Antunes, M., Moreira, N., Soares, A., Pereira, I., Dias, R., Machado, I., Pacheco, C., Santos, N., Silva, V., Campos, S. (2015). Exposição "Terra; Um Planeta dinâmico"; o conceito de Tempo Geológico no ensino das geociências. I Encontro em Ensino e divulgação das Ciências – Resumos digitais das comunicações, 71-72.
2. Soares, A., Pacheco, C., Moreira, N., Amaral, F., Cruz Correia, J., Pereira, I., Silva, V., Sousa, F., Campos, S., Dias, R., Machado, I. (2012). O Centro Ciência Viva de Estremoz, um espaço interactivo de divulgação científica e tecnológica. *Educações no Alentejo*, 224-232.
3. Torres, J., Vasconcelos, C. (2013). Evolução Histórica dos Modelos da Estrutura Interna da Terra: Visões de Professores de Ciências. *História da Ciência para o Ensino – Atas do Colóquio I*, 49-60.
4. Cardoso, A., Faria, J., Ribeiro, T., Pinheiro, A., Vasconcelos, C. (2017). Ensinar e aprender em Universidades Seniores: Concepções sobre a Estrutura da Terra. *Conference Paper*.
5. Guerner Dias, A., Freitas, C., Guedes, F., Bastos, C. (2013). Estrutura Interna da Terra. *Revista de Ciência Elementar*, 1(1), 16.
6. Völgyesi, L., Moser, M., (1982). The Inner Structure of the Earth. *Periodica Polytechnica Chem. Eng.*, Vol. 26, Nr. 3-4, 155-204.
7. Burridge, R., and Knopoff, L. (1967). Model and Theoretical Seismicity, *Bull. Seism. Am.* 57, 341.
8. Anderson, D. L. (2001). Top-Down Tectonics?. *Science*, 293.