

PAISAGENS EDUCATIVAS DO GEOPARK NATURTEJO MUNDIAL DA UNESCO

Paisagens Educativas do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO

Coordenação Carlos Neto de Carvalho, Joana Rodrigues, Maria Manuela Catana

Edição: Naturtejo, E.I.M., Castelo Branco, Portugal 2022

www.naturtejo.com

ISBN 978_989_97888_3_1 (eBook)

Créditos fotográficos (por capítulo): Naturtejo (1, 6, 7, 10, 11, 12), Jesus Salazar (2, 3, 5, 9), Sofia Pereira (4), Joel Carvalho (8), Micha Groenewegen (13)

© Todos os direitos reservados aos Autores.

Como citar os artigos deste livro:

Catana, M.M. (2022) - Aprender com a Paisagem: os Programas e Recursos Educativos do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO In: *Paisagens Educativas do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO* (Ed. C. Neto de Carvalho, J. Rodrigues & M.M. Catana). Naturtejo, EIM, Castelo Branco, 10-15



Índice

Geopark Naturtejo: sala de aula na Paisagem	5
Prefácio da Associação Portuguesa de Geólogos	7
CAPÍTULO 1	10
Aprender com a Paisagem: os Programas e Recursos Educativos do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO	
<i>M. M. Catana</i>	
CAPÍTULO 2	17
A Conservação do Património Geológico no Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO	
<i>C. Neto de Carvalho & J. Rodrigues</i>	
CAPÍTULO 3	24
Climas e ambientes das mais antigas formas de vida do Geopark Naturtejo	
<i>C. Neto de Carvalho</i>	
CAPÍTULO 4	32
E depois das “Cobras Pintadas”: os estratos e os fósseis do Ordovícico Médio-Silúrico do Sinclinal de Penha Garcia	
<i>S. Pereira</i>	
CAPÍTULO 5	39
Os maciços granitóides ordovícicos e tardi-variscos da área do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO - um contributo para a história do Paleozóico em Portugal	
<i>I.M.H.R Antunes & I. Ribeiro da costa</i>	
CAPÍTULO 6	45
Cartografia geológica: cartografando histórias do oceano até às cadeias de montanhas	
<i>N. Moreira</i>	
CAPÍTULO 7	52
O registo sedimentar e geomorfológico da região do Geopark Naturtejo, como arquivo da evolução geológica de Portugal central nos últimos ~50 milhões de anos	
<i>Pedro Proença Cunha</i>	
CAPÍTULO 8	60
Geoturismo: abordagens inovadoras ao usufruto e valorização da Paisagem	
<i>Joana Rodrigues & Carlos Neto de Carvalho</i>	

CAPÍTULO 9	67
Reativação alpina e registo morfológico de falhas no Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO	
<i>R. Pereira Dias & J. Cabral</i>	
CAPÍTULO 10	73
As faunas do Pleistocénico Superior do sítio da Foz do Enxarrique (Vila Velha de Ródão): questões tafonómicas e paleoambientais	
<i>Silvério D. Figueiredo & Luís Raposo</i>	
CAPÍTULO 11	81
Como os blocos rochosos de Monsanto desafiam as leis da Física	
<i>I. Fernandes, T. Bodas Freitas, C. Neto de Carvalho & J. Calvão</i>	
CAPÍTULO 12	87
Rochas quartzíticas como reservatório de água mineral natural e água de nascente	
<i>M. Rosário Carvalho & J. Martins de Carvalho</i>	
CAPÍTULO 13	92
Caracterização da vulnerabilidade associada a águas subterrâneas – o estudo de caso Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, Portugal	
<i>Teresa Albuquerque, Natália Roque, Joana Rodrigues, Isabel Margarida Antunes & Catarina Silva</i>	

Geopark Naturtejo: sala de aula na Paisagem

Uma Paisagem para a Ciência, uma Geodiversidade de 600 milhões de anos. Uma longa história de relações emocionais com a paisagem. Um território com uma grande variedade de habitats que vibra com os singulares símbolos da sua ruralidade. Uma região que quebra fronteiras, de vastos domínios, com mais de 5000 km² de extensão. Um espaço escassamente povoado e de liberdades, mas onde um amigo pode ser encontrado quando mais precisamos. Com um clima seco no Verão e aprazível o resto do ano, muito favorável aos trabalhos de campo de longa duração. Um território acessível, a duas horas de Lisboa e a três horas de Madrid. Com excelentes ligações rodoviárias, que facilitam o trabalho de campo de dia e assistir a um festival, ou provar a excelente gastronomia regional, à noite. Cidades e vilas modernas, onde viver é um prazer, com excelentes acessos a cuidados de saúde e internet gratuita nos espaços públicos. Onde encontramos o Instituto Politécnico de Castelo Branco, uma instituição de ensino superior que celebra quarenta anos de existência, dotada de excelentes equipamentos e condições laboratoriais para a prática de um ensino e investigação avançados. Um território aberto ao mundo através de diversos protocolos académicos, mas centrado nas necessidades do território. Um território seguro, para todos, num país que é o terceiro no Índice da Paz Global. Um geoparque com um longo historial de contributos para a Ciência mundial e nacional, de João Rodrigues “Amato Lusitano” e António Ribeiro Sanches aqui nascidos, ao “feudo” de Orlando Ribeiro. O Naturtejo UGGp, é uma paisagem de oportunidades científicas que abraça quem quer ir mais longe.

Com actividades educativas desde 2005, os Programa Educativos do Geopark Naturtejo foram formalizados no ano lectivo de 2007/8. Ao longo dos anos, as actividades educativas, recursos e acções de formação do Geopark Naturtejo têm chegado a professores e alunos, dos jardins de infância às universidades (e univ. séniores), procurando ajustar exemplos do território aos vários níveis de ensino. O Geopark Naturtejo tem sido levado às escolas locais com o mesmo brio e entusiasmo com que tem recebido escolas e universidades, vindos de todos os pontos do país e de muitas regiões do mundo. O Geopark Naturtejo, integrando a Rede Mundial de Geoparques da UNESCO, tem participado em diversos projectos educativos internacionais, aprendendo com as boas práticas de outros geoparques, ao mesmo tempo que dissemina conhecimento e metodologias por cá criadas.

A Ciência e a Educação andam de mãos dadas no Geopark Naturtejo, onde a inovação e rigor científicos são levados e transmitidos da Natureza. O I Curso de Actualização de Professores em Geociências – Especial organizado com a Associação Portuguesa de Geólogos segue justamente esta forma que sempre tivemos de lidar com a transmissão do conhecimento científico, aproximando afloramentos, trabalhos científicos, e os seus mestres, do público escolar. O Curso de Actualização de Professores é para nós muito especial, uma vez que marca 20 anos sobre o primeiro Curso organizado pela

Associação Portuguesa de Geólogos em Idanha-a-Nova (2001), que constituiu um passo substantivo e precursor que levaria ao desenvolvimento pioneiro em Portugal do projecto Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, a partir de 2003. Um reconhecimento muito especial a João Serejo Proença, veterinário de Idanha-a-Nova e sócio da APG, por ter sido o grande impulsionador do primeiro evento. Este livro que resulta do I CAP Especial não é mais do que uma síntese do conhecimento científico em evolução no Geopark Naturtejo ao longo destas duas décadas, trazida aos professores por todas e todos que connosco têm colaborado na construção de um território de Ciência e de Educação. A todos eles e para aqueles que organizaram e participaram no I CAP Especial o nosso bem-haja!

Ao professor que se prepara para ler os capítulos que se seguem, desejamos uma boa viagem, cheia de descobertas, pelo conhecimento geológico do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO!

Os editores

Prefácio da Associação Portuguesa de Geólogos

Os Cursos de Atualização de Professores (CAP) em Geociências, organizados pela Associação Portuguesa de Geólogos (APG), têm uma já longa tradição na área formativa de docentes dos Ensinos Básico e Secundário que lecionam disciplinas relacionadas com as Ciências Naturais.

Estes cursos de formação iniciaram-se em 1980. Ininterruptamente, têm sido organizados em várias regiões do país proporcionando aos docentes o contacto com a mais recente investigação na área das geociências através do saber de vários especialistas, com o objetivo de promover a sua atualização científica e contribuir para a melhoria da sua prática letiva.

As 41 edições extraordinariamente participadas são a prova do sucesso desta formação.

Desde o ano de 2018, os CAP têm sido coorganizados com os geoparques portugueses, permitindo partilhar o conhecimento e a experiência locais acerca da geologia de cada região, evidenciar a importância destes territórios de Ciência enquanto recurso educativo, bem como o seu carácter multidisciplinar e transversal aos diversos graus de ensino.

Este ano voltamos a Idanha-a-Nova para celebrar os 20 anos do primeiro CAP organizado pela APG na região. Realizado em parceria com a Naturtejo, o Curso de Formação de Professores Especial “Paisagens Educativas do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO” tem como objetivo promover a capacitação de professores na área da Geodiversidade e do Desenvolvimento Sustentável, a partir da descoberta do território do Geopark Naturtejo como área de estudo de excelência.

Desejamos a todos uma excelente formação e um alegre geoconvívio!

Mónica Sousa, Diretora Executiva da APG

Gina P. Correia, Membro da Comissão Diretiva da APG

Luís Lopes, Presidente da Comissão Diretiva da APG

Comissão Organizadora

Mónica Sousa

Associação Portuguesa de Geólogos, Instituto de Ciências da Terra & Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Gina P. Correia

Associação Portuguesa de Geólogos, Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra

Luís Lopes

Associação Portuguesa de Geólogos, Instituto de Ciências da Terra & Universidade de Évora

Manuela Catana

Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, Município de Idanha-a-Nova

Joana Rodrigues

Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO

Carlos Neto de Carvalho

Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, Município de Idanha-a-Nova



Capítulo 1

Aprender com a Paisagem: os Programas e Recursos Educativos do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO

M. M. CATANA¹

1. Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, Serviço Educativo do Município de Idanha-a-Nova, Centro Cultural Raiano, Avenida Joaquim Morão, 6060-101 Idanha-a-Nova; Instituto de Ciências da Terra, Pólo da Universidade do Minho, Braga; mmscatana@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Educação para a sustentabilidade, Educação em Geociências, Programas Educativos, Educação formal, Recursos educativos

RESUMO: Os Geoparques Mundiais da UNESCO (GMUs) são excelentes oportunidades para apoiar as escolas enquanto salas de aula ao ar livre, incubadores de desenvolvimento sustentável, estilos de vida sustentáveis e saudáveis, de apreciação da diversidade natural e cultural e promoção da paz. Por estas razões, os GMUs são também estratégias efetivas para a promoção dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas. O Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO organiza programas educativos destinados ao público escolar (educação formal) desde 2007, baseados na educação em geociências para a sustentabilidade. As atividades educativas são promovidas com diversos parceiros e são destinadas a alunos e professores desde o ensino pré-escolar ao superior. A maioria das atividades são ao ar livre com o objetivo de reconectar as crianças e jovens com a natureza.

KEYWORDS: *Education for sustainability, Geosciences Education, Educational Programmes, Formal education, Educational resources*

ABSTRACT: *The UNESCO Global Geoparks (UGGps) are excellent opportunities to assist schools as outdoor classrooms and to be incubators of sustainable development, sustainable lifestyles, the appreciation of natural and cultural diversity and the promotion of peace. For these reasons, UGGps are also effective strategies for the promotion of the 17 United Nations Sustainable Development Goals (Agenda 2030). Naturtejo UGGp offers educational programmes addressed to the school public (formal education) since 2007, focused on geosciences education for sustainability. The educational activities are promoted with different partners and are addressed to students and teachers from the kindergarten to the university. Most of the activities are outdoor activities with the purpose to re-connect young people with nature.*

1. Introdução

Os Geoparques Mundiais da UNESCO (GMUs) são territórios onde sítios e paisagens de relevância geológica internacional são geridos com base num conceito holístico de conservação, educação e turismo, visando o desenvolvimento sustentável. Existem 177 GMUs em 46 países distribuídos por todos os continentes, excepto Oceania (em abril de 2022). Os GMUs são laboratórios perfeitos para implementar e contribuir para a concretização dos

ODS, destacando-se o ODS 4 – Educação de Qualidade, como um dos mais relevantes, já que a educação é um dos seus 3 pilares de ação (UNESCO, 2016).

2. O papel dos Geoparques Mundiais da UNESCO na promoção da Educação em Geociências para a Sustentabilidade

Todos os GMUs devem desenvolver e promover atividades educativas para todas as idades, a fim de aumentar a consciência para a conservação do património geológico e das suas relações com outros aspetos do património natural e cultural. Assim, as políticas e ações educativas relativas à geoconservação são muito importantes, quer no contexto escolar (educação formal) quer dirigidas ao público em geral (educação não formal). Neste trabalho, o foco serão as atividades educativas promovidas pelo Geopark Naturtejo para o público escolar (educação formal). Os GMUs são excelentes ferramentas para ajudar as escolas como salas de aula ao ar livre e serem incubadoras de desenvolvimento sustentável, estilos de vida saudáveis, de apreciação da diversidade natural e cultural, e promoção da paz (Catana & Brilha, 2020). A análise dos dados obtidos com um questionário online respondido por setenta e três GMUs, de trinta e cinco países de todo o mundo, permitiu a caracterização do papel desempenhado pelos geoparques na promoção da educação em Geociências para a sustentabilidade através de programas educativos (educação formal). A maioria dos geoparques tem um departamento educativo específico no qual gasta cerca de um terço do seu orçamento anual. O responsável desse departamento tem uma formação científica em geologia e um contrato permanente com a estrutura de gestão do geoparque. Dos ODS da Agenda 2030, os mais explorados nas actividades educativas são (por ordem decrescente) "4 - educação de qualidade", "15 - ecossistemas terrestres e biodiversidade", "11 - cidades e comunidades sustentáveis", "13 - combate às alterações climáticas" e "3 - vida saudável" (Catana & Brilha, 2020).

3. A estratégia educativa do Geopark Naturtejo – “Geonaturescola”

Os programas educativos do Geopark Naturtejo baseiam-se no paradigma da educação das Geociências para a sustentabilidade e pretendem contribuir para a conservação, promoção e valorização do património natural e histórico-cultural do geoparque, bem como para o desenvolvimento sustentável de todo o seu território. Estes programas tiveram início formal no ano letivo 2007/2008 e têm vindo a ser atualizados. Os temas abordados nos programas educativos são adaptados ao currículo nacional e às aprendizagens essenciais homologadas pelo Ministério da Educação, em 2018. Em Portugal, a Geologia é ensinada em vários anos de escolaridade do ensino básico e secundário, o que dá a oportunidade aos professores de aplicarem os programas do Geopark Naturtejo em diferentes momentos. O valor educativo do património geológico do geoparque é confirmado pela sua inclusão como um recurso educativo no currículo nacional. Já surgiram questões sobre o seu património geológico em exames nacionais dirigidos a estudantes do ensino secundário e a professores. Alguns manuais de Ciências Naturais e Biologia e Geologia apresentam textos e fotografias da geodiversidade do geoparque, e sugerem o seu território como

destino relevante para aulas de campo. Desde 2007/2008, ano em que foram criados os Programas Educativos do Geopark Naturtejo, o Serviço Educativo tem uma coordenadora com formação superior em Ensino da Biologia e Geologia e Património Geológico e Geoconservação. Para além da coordenadora existem monitores com formação superior em Geologia ou Geografia e que recebem treino sobre os tópicos do currículo antes de começarem a dinamizar ações com os alunos e professores (Catana & Brilha, 2022). Os objetivos do serviço educativo do geoparque são: incentivar o saudável contacto direto com a Natureza; sensibilizar para a proteção e conservação do património Natural e Cultural; permitir a utilização de instrumentos científicos associados ao trabalho de campo; promover o contacto direto com os objetos de estudo; ser um complemento aos programas curriculares e aprendizagens essenciais definidas pelo Ministério da Educação; auxiliar os professores a diversificar o tipo de estratégias que usam para lecionar os conteúdos de Geociências; gerar aprendizagens significativas; incrementar a literacia científica e contribuir para o exercício de cidadania (Catana, 2009). Os destinatários dos programas educativos são alunos e professores do ensino pré-escolar, básico, secundário, profissional, superior e universidades sénior, do território do geoparque e de outras instituições portuguesas. Algumas das atividades são adaptadas a alunos estrangeiros. Os programas abrangem não apenas temas incluídos na Geologia e Biologia, mas noutras disciplinas, como por exemplo, Geografia, História, Educação Ambiental, Educação Física, Turismo e Ordenamento do Território. Algumas atividades incluem desportos de natureza opcionais que são dinamizados por empresas parceiras do geoparque. Atualmente o serviço educativo tem 30 parceiros, incluindo universidades, museus/centros de ciência e de interpretação ambiental, duas áreas protegidas, a Reserva da Biosfera Transfronteiriça do Tejo/Tajo Internacional, entre outros (Catana & Brilha, 2022).

3.1. Os Recursos Educativos do Geopark Naturtejo

Os programas educativos do geoparque baseiam-se nos recursos naturais e culturais do seu território, selecionados pelo seu elevado valor educativo, serem de fácil acesso e segurança. Esses programas incluem também centros interpretativos e museus, percursos pedestres e percurso de barco/caiaques. Dos 176 geossítios inventariados no geoparque foram selecionados 13 para integrarem os programas educativos regulares (Tabela 1), bem como 9 centros de interpretação/museus de 40 existentes e 8 percursos pedestres, a partir de 22 com interesse geoturístico. Outras atividades educativas decorrem de forma mais pontual em diversos geossítios, com particular destaque no último ano para o Parque do Barrocal, em Castelo Branco. O percurso de barco/caiaques permite atravessar o Monumento Natural das Portas de Ródão no rio Tejo. Por solicitação dos professores, outros geossítios podem ser adicionados às saídas de campo já existentes, ou criar uma saída totalmente nova, sendo nesse caso atividades à medida (Catana & Brilha, 2022).

Geossítios	Tema principal
Parque Icnológico de Penha Garcia	Paleontologia
Portas de Almourão	Geomorfologia fluvial e Tectónica
Garganta do Zêzere	Geomorfologia fluvial
Minas de Segura	Mineração
Inselberg de Monsanto	Geomorfologia Granítica
Escarpa de Falha do Ponsul	Tectónica
Troncos fósseis de Vila Velha de Ródão	Paleontologia
Canhões Fluviais do Erges	Geomorfologia fluvial
Fraga da Água D'Alta	Geomorfologia fluvial
Monumento Natural das Portas de Ródão	Geomorfologia fluvial
Formas Graníticas da Gardunha	Geomorfologia granítica
Mina de Ouro Romana do Conhal do Arneiro	Mineração antiga
Complexo Mineiro Romano da Presa	Mineração antiga

Tabela 1 - Geossítios integrados nos Programas Educativos.

Para além destes recursos, o serviço educativo proporciona outros recursos para serem usados no processo de ensino/aprendizagem, alguns deles disponíveis no microsite (www.geonaturescola.com) tais como: ilustrações e esquemas usados nas saídas de campo; modelos de dobras e fósseis; réplicas de fósseis; *booklets* e guiões de saídas de campo para alunos e professores; artigos científicos relacionados com cada saída de campo; livros com histórias para crianças; apresentações *powerpoint*; *puzzles* do mapa geológico e geossítios e outros jogos; canções; Jogo de Ciências ao ar livre: “*TeachOUT APP*”; “Módulo de Ensino de Geociências no campo: Geoparques e geossítios – Geopark Naturtejo”; Coleções de rochas, fósseis e minerais; “Litoteca do Geopark Naturtejo” com 27 amostras (versão física e virtual); Geopark Virtual, uma parceria com a Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco, no âmbito de estágios curriculares e trabalhos de final de curso, com quem se tem desenvolvido visitas virtuais, Apps e jogos interativos (www.naturetejo.com/geopark-virtual.php); “O que há neste lugar?” publicação em português e inglês integrada no projeto “Scape.com: Comunicar a Paisagem - Leitura e Exploração de Paisagens”, promovido pelo Museu da Paisagem, parceiro do Geopark Naturtejo.

3.2. Os Programas Educativos do Geopark Naturtejo

No ano lectivo 2021/2022 o Geopark Naturtejo dinamiza 3 tipos de programas educativos: “A Escola vai ao Geopark”, “O Geopark vai à Escola” e “Anim’a Rocha”. O Programa Educativo “A Escola vai ao Geopark” destina-se a alunos de escolas portuguesas e escolas estrangeiras (com adaptações). Este programa educativo consiste em 12 saídas de campo interdisciplinares de meio-dia ou de um dia (www.geonaturescola.com) (figuras 1 e 2) e duas saídas de campo de dois ou mais dias de duração.

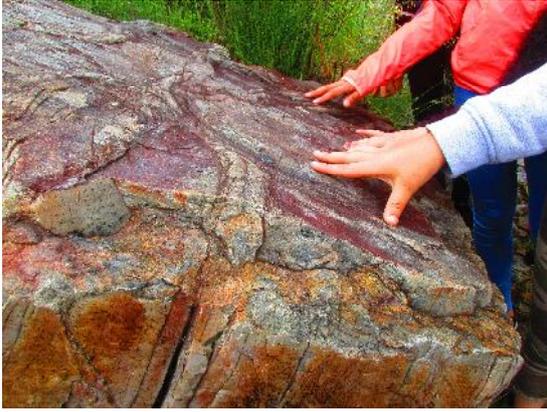


Figura 1 - Saída de Campo – Penha Garcia Figura 2 - Saída de Campo - Portas de Almourão

O Programa Educativo “O Geopark vai à Escola” é principalmente destinado a escolas do território Geopark Naturtejo e consiste em duas saídas de campo e oito workshops que decorrem na sala de aula. O Programa Educativo “Anim’a a Rocha” é apenas dirigido a escolas do geoparque e inclui atividades, tais como: projetos anuais; exposições temporárias; celebrações de dias temáticos ambientais; concursos escolares; ações de melhoria ambiental (plantações de árvores, recolha de resíduos, etc.). Para além destas atividades destinadas a alunos, o geoparque também organiza ações mais focadas nos professores, nomeadamente, cursos/formações, seminários, workshops e saídas de campo. Em algumas destas ações os professores são desafiados a criar recursos educativos para usar com os seus alunos. O Geopark Naturtejo divulga os seus programas educativos para instituições de ensino através de: contato direto com professores; envio de emails para escolas; folheto impresso e digital; redes sociais; *website* do geoparque; *microsite* específico dos programas educativos (www.geonaturescola.com). A avaliação das atividades educativas é baseada no feedback dado pelos monitores do geoparque que dinamizam as atividades e através de dados recolhidos em inquéritos de satisfação preenchidos pelos professores e/ou alunos, o que tem permitido melhorar a qualidade dos programas.

4. Considerações finais

O Geopark Naturtejo despoletou, em Portugal, há 15 anos, uma revolução nas escolas. Os programas educativos foram muito bem recebidos pelos professores que os encararam como novas ferramentas educativas para melhorar as suas práticas letivas. O facto de os programas educativos serem direcionados aos conteúdos lecionados contribuiu para esta grande aceitação. De 2007/2008 a 2020/2021 participaram nos programas educativos mais de 35 000 alunos e professores dos diversos níveis de ensino, maioritariamente portugueses, seguidos de espanhóis e norte americanos, entre outros.

5. Referências bibliográficas

UNESCO. 2016. UNESCO Global Geoparks contributing to the Sustainable Development Goals – Celebrating Earth Heritage, Sustaining local Communities. <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002477/247741E.pdf>.

CATANA M.M., BRILHA J. 2022. Environmental Education in Naturtejo UNESCO Global Geopark (Portugal): A Nature-Based Approach. In: Vasconcelos C., Calheiros C.S.C. (eds) Enhancing Environmental Education Through Nature-Based Solutions. Integrated Science, vol 4. Springer, Cham. pp.269-282. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91843-9_17

CATANA M.M., BRILHA J.B. 2020. The Role of UNESCO Global Geoparks in Promoting Geosciences Education for Sustainability. Geoheritage. <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00440-z>

CATANA M. M. 2009. Os programas educativos do Geopark Naturtejo: ensinar e aprender geociências em rotas, geomonumentos, museus e na escola. *In*: Neto de Carvalho C., Rodrigues J. & Jacinto A. (Eds.). Geoturismo & Desenvolvimento Local – Livro das XVIII Jornadas sobre a função social do Museu. Idanha-a-Nova, 25 a 28 de setembro de 2008. Câmara Municipal de Idanha-a-Nova. pp. 291-307.



Capítulo 2

A Conservação do Património Geológico no Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO

C. NETO DE CARVALHO¹ & J. RODRIGUES²

1. Município de Idanha-a-Nova, Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO; IDL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. carlos.praedichnia@gmail.com

2. Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO. joana.rodrigues@naturtejo.com

PALAVRAS-CHAVE: Geodiversidade, Património Geológico, Geoconservação, Inventariação, Geomonumentos, Geoparque Mundial da UNESCO

RESUMO: O Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO contribuiu para o desenvolvimento local sustentável através da inventariação, conservação/gestão e valorização do Património Geológico, de acordo com elevados padrões de qualidade exigidos pelo Programa Internacional de Geociências e Geoparques da UNESCO. O Geopark Naturtejo possui uma Geodiversidade significativa, que demonstra mais de 600 milhões de anos de História da Terra e uma forte relação entre as comunidades locais e a Paisagem, que se traduz em 176 geossítios inventariados, muitos dos quais de referência geocultural. Os projectos de valorização dos seus geomonumentos passaram pelo envolvimento dos municípios, com destaque para a criação do Parque Icnológico de Penha Garcia e do Parque do Barrocal de Castelo Branco, assim como na proteção legal do Monumento Natural das Portas de Ródão e da Paisagem Protegida Regional da Serra da Gardunha.

KEYWORDS: *Geodiversity, Geoheritage, Geoconservation, Inventorying, Geomonuments, UNESCO Global Geopark*

ABSTRACT: *Naturtejo UNESCO Global Geopark has contributed for sustainable local development through the inventorying, protection/management and valorization of the Geological Heritage, according to the high standards of the International Geoscience and Geoparks Program of UNESCO. The Naturtejo Geopark has a significant Geodiversity, which demonstrates more than 600 million years of Earth History and a strong relation between local communities and the Landscape, revealed in 176 inventoried geosites, several of them with geocultural relevance. The projects to develop geomonuments involved local municipalities responsible for land management, with such examples as the Penha Garcia Ichnological Park and the Granite Landforms Park of Castelo Branco, as well as by the legal protection of the Portas de Ródão Natural Monument and the Regional Protected Landscape of the Gardunha Mountain.*

1. Introdução

O Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO foi o primeiro geoparque classificado em Portugal, em 2006 (Neto de Carvalho, 2008; Neto de Carvalho & Rodrigues, 2010). Abrange um território que se estende pela Beira Baixa, extravasando o rio Tejo para alcançar o Nordeste Alentejano, e inclui actualmente 7 municípios: Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Nisa, Oleiros,

Penamacor (integrado em 2015), Proença-a-Nova e Vila Velha de Ródão, com uma área total de 5067 km².

Os primeiros estudos científicos no território remontam ao século 18, com as observações arqueológicas, hidrológicas e de hidráulica fluvial pioneiras de Manuel Pereira da Silva Leal, António Ribeiro Sanches e Estevão Dias Cabral. Só no último quartel do séc. 19 se deram os primeiros trabalhos estratigráficos e paleontológicos de Nery Delgado, tendo o séc. 20 como principal referência os estudos da Paisagem de Orlando Ribeiro e culminando no século 21 com a intensificação dos trabalhos de investigação, principalmente após a criação do Geopark Naturtejo que, desde a sua criação, vem fomentando parcerias com instituições académicas e de investigação. Para responder aos actuais desafios que a nossa sociedade enfrenta, o Geopark Naturtejo está comprometido com a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, promovendo a investigação científica e a geoconservação para a educação e para o desenvolvimento socioeconómico e actuando em conjunto, tanto quanto possível, com decisores, agentes e comunidades locais.

2. Geodiversidade

A história geológica do geoparque encontra-se sintetizada em Neto de Carvalho & Rodrigues (2012), à luz do conhecimento científico desenvolvido pelos geocientistas que se têm dedicado ao estudo desta região. O Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO insere-se no sector meridional da Zona Centro-Ibérica, uma das zonas paleogeográficas que constituiu o Maciço Ibérico durante a Orogenia Varisca. Do ponto de vista geomorfológico, o território estende-se entre a Cordilheira Central Ibérica e a Meseta sul ou meridional, sendo definido por um conjunto de falhas reactivadas durante e após a fase Bética da Orogenia Alpina, que delimitam blocos progressivamente mais soerguidos para norte.

As altitudes variam entre os 40 m no leito do rio Tejo na confluência do seu afluente, o Ocreza, e os 1227 m da Serra da Gardunha, predominando as extensas aplanagens bem preservadas e antigas da Superfície Fundamental da Meseta a sul, face aos blocos soerguidos a partir do Tortoniano e intensamente marcados pela erosão fluvial das serras de Alvelos, da Gardunha e da Malcata, a norte.

A geologia é definida pelo predomínio de unidades metassedimentares predominantemente marinhas datadas do Neoproterozoico ao Silurico inferior, deformadas e fracturadas durante as fases as fases derradeiras da Orogenia Cadomiana e na Orogenia Varisca. No final ou logo após estas orogenias, gerou-se intensa actividade magmática, com a formação de grandes plutonitos, como os de Oledo-Idanha-a-Nova, Zebreira e Batão de Baixo (Ordovícico Inferior) e os de Castelo Branco, Monsanto-Penamacor, Belmonte, Salvaterra do Extremo e Segura (Carbónico Superior). Após um longo período de aplanção que se prolonga desde o final do Mesozoico ao Paleogénico, dá-se o início do desenvolvimento das sub-bacias do Baixo Tejo, com a deposição de sedimentos continentais nos últimos 50 milhões de anos. Ao longo de mais 600 milhões de anos, as mudanças climáticas globais que ocorreram na Terra deixaram profundas marcas nos estratos que caracterizam o Geopark Naturtejo, desde as glaciações dos finais do Neoproterozoico e do Ordovícico,

aos depósitos de terraço do rio Tejo, às arcoses da Beira Baixa depositadas em condições predominantes de aridez.

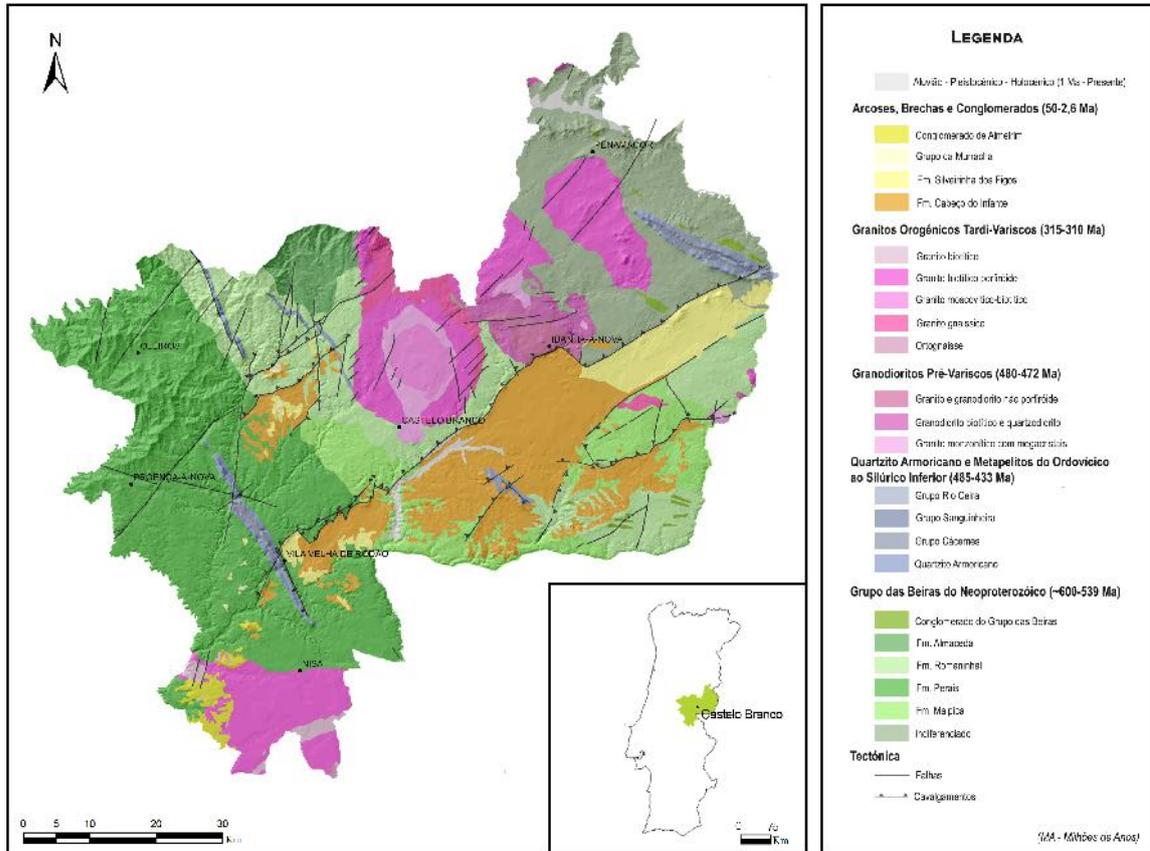


Figura 1 – Mapa geológico simplificado do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO (adaptado da Carta Geológica de Portugal à escala 1:500000, de 1992).

3. Geoconservação

O 'Inventário do Património Geológico e Geomineiro do Geopark Naturtejo' é um instrumento orientador do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento de estratégias de gestão territorial, nomeadamente ao nível da conservação da natureza, ordenamento do território e avaliação de impacte ambiental, numa área classificada que corresponde a cerca de 5,5% do território nacional. Este Inventário inclui 176 geossítios, tendo sido ponderados e seleccionados os locais mais representativos e relevantes, em cada categoria temática (Tabela 1), com base nos valores científico, didáctico, cultural, ecológico e estético e considerando a sua representatividade à escala do território do Geopark Naturtejo, a sua legibilidade, integridade, raridade e potencial de uso (Neto de Carvalho & Rodrigues, 2017; Rodrigues & Neto de Carvalho 2019), de acordo com metodologia adaptada de Brilha (2005). Valorizou-se também a selecção de locais com associações ao património histórico-cultural e locais incluídos em áreas protegidas.

Categorias Temáticas	Subcategorias	N.º de Geossítios Inventariados
Geomorfologia	Geomorfologia fluvial, relevos residuais, geoformas tectónicas, geoformas graníticas	70
Património Geomineiro: Recursos minerais/ minas	Pedras semi-preciosas (pegmatito); mineração de estanho, chumbo, fosforite, ferro, cobre, volfrâmio e antimónio; mineração antiga de ferro, ouro e cobre; exploração de granito e de cal	31
Estratigrafia/ Sedimentologia	Pré-Câmbrico, Paleozoico, Cenozoico	26
Tectónica	Cadomiano, Varisco, Alpino	21
Paleontologia	Paleoicnologia, paleobotânica, invertebrados, invertebrados	14
Hidrogeologia	Águas minero-medicinais, águas minero-medicinais quentes (termais), nascente	11
Petrologia / Mineralogia	Plutonismo, filões hidrotermais	3

Tabela 1 – Categorias temáticas estabelecidas para o Património Geológico do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO (Rodrigues & Neto de Carvalho, 2019).

Dos geossítios inventariados 7 apresentam relevância internacional, estando incluídos no Inventário também sítios com relevância nacional, regional e local, importantes para a estratégia de desenvolvimento territorial do Geopark Naturtejo. Dos 176 geossítios há também a destacar 11 incluídos no Inventário Nacional de Património Geológico, de acordo com a avaliação da sua relevância científica à escala nacional.

O Geopark Naturtejo, designado no âmbito do Programa Internacional de Geociências e Geoparques da UNESCO, é uma área classificada, de acordo com o Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Biodiversidade (Decreto-Lei n.º 142/ 2008, de 24 de Julho, alterado pelo Decreto Lei n.º 242/2015, de 15 de Outubro). Não sendo uma área protegida, com instrumentos legais próprios de gestão do território, o Geopark Naturtejo recorre a variados instrumentos legais para a protecção do seu património geológico (Rodrigues & Neto de Carvalho, 2010a; Rodrigues 2017; Rodrigues & Neto de Carvalho, 2019). Estão actualmente legalmente protegidos cerca de 55% dos geossítios, através de diferentes enquadramentos. 17 destes geossítios destacam-se pela sua importância para a construção da história geológica do Geopark Naturtejo (Neto de Carvalho, 2020) e pela sua relativamente baixa vulnerabilidade, sendo designados por ‘Geomonumentos’ (Carvalho 1998) dada a sua monumentalidade, raridade e beleza. Estes locais apresentam grande potencial didáctico e turístico e, alguns deles são verdadeiros ícones a nível nacional, como o monte-ilha de Monsanto, ou o Monumento Natural das Portas de Ródão e o Parque Icnológico de Penha Garcia que se constituíram durante o processo de desenvolvimento do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO (Neto de Carvalho, 2004; Gouveia, 2009). Os trabalhos de estudo e inventariação do Património Geológico do Geopark Naturtejo despoletaram mais recentemente a classificação da

Paisagem Protegida Regional da Serra da Gardunha e a protecção do Parque do Barrocal, em plena área urbana da cidade de Castelo Branco. Muitos dos geossítios têm vindo a ser integrados nas ferramentas de ordenamento do território, com particular destaque para a revisão dos Planos-Director municipais.

A Geodiversidade e o Património Geológico têm vindo a contribuir para o desenvolvimento territorial sustentável em acordo com a Agenda 2030 da ONU, através dos Programas Educativos, assim como da criação de produtos turísticos inovadores (incluindo geoturísticos) (Rodrigues & Neto de Carvalho, 2010b).

4. Conclusões

A inventariação do património geológico, ainda que não regulamentada pela legislação portuguesa, tem vindo a suportar um número crescente de projectos municipais relacionados com a protecção, gestão e valorização da Geodiversidade. Esta esteve na base da constituição do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, um projecto pioneiro em Portugal desenvolvido por seis municípios da Beira Baixa (hoje integrando toda a Comunidade Intermunicipal) e do Nordeste Alentejano. O Inventário do Património Geológico e Geomineiro do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO é uma ferramenta fundamental na gestão territorial, estabelecendo condicionantes ao desenvolvimento de grandes projectos de obras públicas e privadas, desde a construção de aproveitamentos hidroeléctricos, parques eólicos, centrais fotovoltaicas, à abertura de novas vias rodoviárias e da implantação da rede eléctrica. Mas estas condicionantes só são úteis ao desenvolvimento sustentável local se forem tomadas medidas legais de protecção e, sobretudo, de valorização enquanto geomonumentos capazes de promover um geoturismo diferenciador e de qualidade, que sustente a oferta local de alojamento e restauração e a diversificação empresarial em torno do turismo. Neste sentido, é importante continuar com a valorização de geomonumentos como a Fraga da Água d'Alta, em Oleiros, e as Portas de Almourão, entre os concelhos de Proença-a-Nova e de Vila Velha de Ródão. Esta valorização só é alcançada conferindo-lhes um estatuto de protecção de nível local e regional, ordenando o seu território com programas de apoio nacionais e europeus, desenvolvendo infra-estruturas turísticas sustentáveis e revelando toda a sua relevância enquanto atractivos geoturísticos de uma rede que motive um número crescente de turistas a regressar ao Geopark Naturtejo, no espaço de emissão potencial da Rede de Geoparques da UNESCO, em crescimento mundial acelerado.

Referências bibliográficas

- BRILHA, J. 2005. Património Geológico e Geoconservação. A conservação da natureza na sua vertente geológica. Palimage, 190p.
- CARVALHO, A.M.G. 1998. Geomonumentos. Uma reflexão sobre a sua classificação e enquadramento num projecto alargado de defesa e valorização do Património. Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro 84(2), G3-G5.
- GOUVEIA, J. 2009. Monumento Natural das Portas de Ródão. Açafa Online 2, 1-75.

NETO DE CARVALHO, C. 2004. Os testemunhos que as rochas nos legaram: Geodiversidade e potencialidades do património do canhão fluvial de Penha Garcia. *Geonovas* 18, 35-65.

NETO DE CARVALHO, C. 2008. A integração do território Naturtejo na European and Global Geoparks Network assistida pela UNESCO. *Geonovas* 21, 7-9.

NETO DE CARVALHO C. & RODRIGUES, J. 2010. Building a Geopark for fostering socio-economical development and to burst cultural pride: the Naturtejo European Geopark (Portugal). In: P. Florido & I. Rábano (Eds), *Una visión multidisciplinar del patrimonio geológico y minero. Cuadernos del Museo Geominero* 12, 467-479.

NETO DE CARVALHO, C. & RODRIGUES, J.C. 2012. Geopark Naturtejo: a evolução da paisagem. In: P.S. Andrade, M. Quinta Ferreira & F.C. Lopes (eds), *I Congresso Internacional "Geociências na CPLP", 240 Anos de Geociências na CPLP, Excursões Científicas*, volume 2, Universidade de Coimbra: 109-129.

NETO DE CARVALHO, C. & RODRIGUES, J. 2017. Avaliação da Geodiversidade e do Património Geológico (Sessão Prática): casos de estudo no Geopark Naturtejo da Meseta Meridional – Geoparque Global da UNESCO. VII Congresso Jovens Investigadores em Geociências. Guia do Workshop: 17-34.

NETO DE CARVALHO C. 2020. Os geomonumento do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO. *Açafa online* 13, 7-30

RODRIGUES J. & NETO DE CARVALHO C. 2010a Geological heritage legal frameworks in Naturtejo Global Geopark. First Meeting of ProGEO Regional Working Group SW Europe, Caravaca de la Cruz, Spain, 241-242.

RODRIGUES, J. & NETO DE CARVALHO, C. 2010b. Património geológico no Geopark Naturtejo: base para uma estratégia de geoturismo. *E-Terra* 18(11), 1-4.

RODRIGUES J. 2017. Naturtejo UNESCO Global Geopark Geological Heritage in Local Management Plans. In: Lima E, Nunes JC, Meirinho P & Machado M (eds.), *Abstracts Book of the 14th European Geoparks Conference*. Azores, Portugal, 53.

RODRIGUES J. & NETO DE CARVALHO C. (2019) O Inventário do Património Geológico e Geomineiro do Geopark Naturtejo (Beira Baixa/Alto Alentejo). *Jornadas de Património Geológico e Geoconservação*, Univ. Minho, 2-3 Maio, 18.



Capítulo 3

Climas e ambientes das mais antigas formas de vida do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO

C. NETO DE CARVALHO¹

1. Município de Idanha-a-Nova | Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO | Colaborador da IDL - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

PALAVRAS-CHAVE: Glaciações neoproterozóicas, Rifting do Oceano Rheic, Biodiversificação ordovícica, Geocronologia U-Pb em zircões, Idanha-a-Nova

RESUMO: Neste resumo apresentam-se os trabalhos estratigráficos e geocronológicos que têm acompanhado os estudos paleobiológicos para a determinação dos paleoambientes e dos paleoclimas em que viveram as mais antigas formas de vida da Península Ibérica, e em que se desenvolveram algumas das mais extraordinárias estratégias comportamentais que foram responsáveis pelo sucesso evolutivo das trilobites.

KEYWORDS: *Neoproterozoic glaciations, Rheic ocean rifting, Ordovician biodiversification, U-Pb zircon geochronology, Idanha-a-Nova*

ABSTRACT: *This summary presents stratigraphic and geochronological works that have accompanied the paleobiological studies to determine the paleoenvironments and paleoclimates in which the oldest forms of life from the Iberian Peninsula once lived, and in which some of the most extraordinary behavioural strategies that were responsible for the evolutionary success of trilobites were developed.*

1. Introdução

A evolução geodinâmica do Maciço Ibérico anterior ao ciclo Varisco compreende um período de colmatação de bacias no arco Cadomiano resultantes da convergência de placas que deu origem ao supercontinente Gondwana. Em sub-bacias fortemente subsidentes depositaram-se as sucessões de espessura quilométrica do Supergrupo Dúrico-Beirão (antigo complexo xisto-grauváquico ante-ordovícico), na sua maioria sedimentos turbidíticos distais a proximais que, no Grupo das Beiras da zona meridional da Zona Centro-Ibérica, mostra ainda fácies diamictíticas (Formação Cabeço das Popas) que têm sido interpretadas como de natureza glaciogénica. Já o ciclo Varisco inicia-se ainda no Câmbrico, com uma fase de rifting intercontinental (materializado nos depósitos de leques aluviais a margino-marinhos da Formação Serra Gorda e afins), que terá levado à separação da placa Avalónia a partir do norte do Gondwana, em regime de margem passiva, com a formação do Oceano Rheic. A colmatação sedimentar de uma paleopaisagem composta por numerosas sub-bacias deu-se pela deposição de espessas

sucessões siliciclásticas a partir de grandes sistemas fluviais, dando origem às fácies de Quartzito Armoricano (Formação de Penha Garcia e afins). Estas fácies resultam de uma grande variabilidade de paleoambientes, entre sistemas deltaicos e ambientes marinhos costeiros sujeitos à acção frequente de tempestades, que apontam para uma forte subsidência térmica que determinou as variações laterais de espessura, na ordem dos 10 m a mais de 1000 m. Desta forma, as condições deposicionais são bastante variáveis, seja ao longo da coluna estratigráfica seja lateralmente, permitindo uma caracterização paleogeográfica da margem noroeste do Rheic. Os ciclos estratigráficos sequenciais identificados na Formação de Penha Garcia, e em outras unidades correlacionáveis, resultaram de pequenas flutuações do nível do mar durante um ciclo transgressivo de primeira ordem, em localização paleogeográfica próxima dos 60° Sul e em condições climáticas globalmente mais quentes (*Greenhouse Earth*), sem a existência de calotas polares (Bayet-Goll & Neto de Carvalho, 2020).

Penha Garcia é uma excelente área para observar a grande discordância Toledânica, onde as formações paleozóicas, que hoje constituem o exemplar Sinclinal de Penha Garcia-Cañaverl, se depositaram em discordância angular sobre o Grupo das Beiras, normalmente associado ao final do Pré-Câmbrico. Sobre a Formação de Serra Gorda, presumivelmente datada da base do Ordovícico, depositou-se em concordância a Formação de Penha Garcia, datada por critérios biostratigráficos do Floiano-Darriwiliano (Bayet-Goll & Neto de Carvalho, 2020). Um pouco mais para leste, na região de Salvaterra do Extremo, o rio Erges cruza um sinclinal composto por várias unidades do Grupo das Beiras, as quais são intruídas por rochas magmáticas. Aqui ocorre o estratótipo da Formação Cabeço das Popas, de fácies pelíticas e conglomeráticas diamictíticas resultantes da chuva de sedimentos resultantes da fusão de icebergues, sobre o fundo marinho (San Jose et al., 1995).

Novas datações U-Pb de zircões magmáticos e de origem sedimentar, pelo método LA-ICP-MS, foram obtidas para as formações atrás descritas na região de Penha Garcia-Salaterra do Extremo (Crispim et al., 2022). A Idade Máxima de Deposição estimada para o Grupo das Beiras, logo abaixo das formações paleozóicas é de 560 ± 10 Ma, tendo o zircão mais recente 552 ± 15 Ma, com uma deposição no Ediacárico superior. Acima da discordância angular, nas arcoses da Formação Serra Gorda obteve-se uma Idade Máxima de Deposição de 491 ± 10 Ma, tendo o zircão mais recente 485 ± 14 Ma e, portanto, tendo cristalizado na base do Ordovícico. A base da Formação de Penha Garcia tem uma Idade de Deposição Máxima estimada de 568 ± 9.3 Ma, com o topo desta formação a 543 ± 10 Ma, mas com o zircão mais recente com uma idade ordovícica de 486 ± 20 Ma. A idade obtida para os filões de granito porfirítico (588 ± 10 Ma) que intersectam a Formação Cabeço das Popas no corte do rio Erges não tem comparação nesta região e é rara nas rochas mais antigas da Península Ibérica e sugere que possam ser uma manifestação do arco magmático Cadomiano. Como estes filões intersectam as unidades diamictíticas é possível datar o evento glaciogénico. Com efeito, a Idade Máxima de Deposição obtida para os diamictitos (589 ± 6.4 Ma) é idêntica, no intervalo de erro, à idade obtida para a intrusão e pode corresponder a uma

glaciação anterior a Gaskiers (descrita pela primeira vez nesta região da Terra Nova), que decorreu entre 579.63 ± 0.15 e 579.88 ± 0.44 Ma e terá atingido baixas paleolatitudes ($10-30^\circ$) (Pu et al., 2016).

2. Evidências de uma glaciação e as mais antigas formas de vida no Pré-Câmbrico português

O Neoproterozoico foi um período na história da Terra marcado por mudanças climáticas extremas, resultantes de glaciações globais que levaram à formulação do modelo Terra “Bola de Neve” (Kirschvink, 1992) decorrido durante o Período Cryogénico (720-635 Milhões de anos) e subseqüentes condições de efeito-de-estufa, mudanças importantes na geoquímica dos oceanos e a evolução sem precedentes dos ecossistemas marinhos. O final do Neoproterozoico assistiu talvez ao mais dramático dos eventos climáticos globais na história da Terra, com sucessivas glaciações que, às altas latitudes, se estenderam até há 565-562 milhões de anos. Considera-se a hipótese de que ocorreram várias glaciações globais durante o Cryogénico e já no Ediacárico, mesmo ao ponto de formarem glaciares no equador com gelo marinho tropical de 1 km de espessura.

O período de glaciações globais do Neoproterozoico marca um importante ponto de viragem na evolução da vida. Embora tenha sido precedido pela crescente evidência da presença de organismos unicelulares, é seguido pelo primeiro registo claro da evolução de animais multicelulares e o aparecimento da fauna com esqueletos mineralizados no início do Câmbrico. Alguns autores sugeriram que estas mudanças evolutivas foram possíveis devido às glaciações, uma vez que a remoção periódica de quase toda a vida, a partir das latitudes mais altas, criaria uma série de “sorteios pós-glaciários”, permitindo a diversificação evolutiva de novas formas, livres da competição de um biota preexistente.

Em Portugal, os fósseis em unidades do Pré-Câmbrico são extraordinariamente raros e correspondentes a acritarcas. Os acritarcas constituem um grupo taxonómico informal estabelecido para facilitar a classificação dos microfósseis de parede orgânica, com origem problemática. Estes encontram-se entre os mais antigos organismos marinhos, com organização celular eucariótica. Fósseis deste tipo são conhecidos apenas na Série Negra da Zona de Ossa-Morena e no Grupo das Beiras da Zona Centro Ibérica, na região de Monfortinho e Salvaterra do Extremo, a qual integra o Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO. *Bavlinella faveolata* Shepeleva, 1962 (Fig. 2) e *Palaeogomphosphaeria cauriensis* Palacios, 1989 são as duas formas descritas no Grupo das Beiras por Sequeira (2011). As concentrações destes acritarcas têm sido explicadas por diferentes autores como indicativas de meios que terão experimentado uma eutrofização de águas durante e após períodos glaciários. A alta concentração de matéria orgânica e a presença de fosfatos sedimentares nestas unidades pode ser explicada (Palacios, 1989) por um sistema de correntes oceânicas ascendentes que promove a provisão contínua e intensa de nutrientes (fosfatos e nitratos) numa comunidade planctónica constituída principalmente por cianobactérias, despoletando o seu crescimento em *blooms*. A interrupção do sistema de correntes oceânicas durante uma glaciação origina a morte em massa dos organismos, criando-se no fundo

oceânico um meio altamente redutor e favorecendo assim a precipitação de fosfatos sedimentares e a preservação da matéria orgânica. A datação absoluta de ~589 Ma obtida por Crispim et al. (2022) para a Formação Cabeço das Popas faz destes, os mais antigos microfósseis conhecidos até hoje na Península Ibérica.



Figura 1 – *Bavlinella faveolata* Shepeleva, 1962 pode comparar-se com espécies de cianobactérias actuais da Ordem Pleurocapsales ou, com maior certeza, da Ordem Chroococcales; corresponde a células esféricas, com diâmetro que varia entre 5 e 28 μm , com subunidades esféricas entre 0,5 e 3 μm (modelo 3D criado pela Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco).

3. As *Cruziana* do Parque Icnológico de Penha Garcia e o Grande Evento de Biodiversificação no Ordovícico

Ao contrário dos somatofósseis, que são os vestígios esqueléticos (orgânicos ou mineralizados) de organismos preservados no registo fóssil, os icnofósseis representam evidências comportamentais de interacção organismo-substrato. Estas incluem estruturas morfológicamente recorrentes e padronizadas, desde trilhos ou escavações de locomoção, locomoção-alimentação, a espaços habitacionais permanentes ou em determinados períodos do ciclo de vida (ninhos, tocas de hibernação, etc), vestígios de aquisição e processamento de alimento, bioerosão (perfurações em substratos litificados) e estruturas sedimentares microbianas (incluindo estromatólitos). O estudo dos icnofósseis (ou das evidências de interacção de organismos com substratos actuais) é do âmbito da Icnologia, uma área científica da Paleontologia que integra conhecimentos de Biologia e de Sedimentologia. Comportamentos semelhantes são reproduzíveis em icnofósseis com a mesma morfologia, podendo ser classificados de acordo com a sua função etológica ao longo de todo o registo geológico. Penha Garcia mostra as associações de icnofósseis mais diversas que foram descritas nas fácies do Quartzito Armoricano em Portugal, incluindo 21 icnogéneros e 36 icnoespécies (Neto de Carvalho & Rodrigues, 2015).

Um dos clássicos da Icnologia portuguesa é as *Cruziana*. Se há icnofósseis de invertebrados identificados em Portugal desde, possivelmente, o Neoproterozoico, as *Cruziana* do Ordovícico Inferior a Médio que ocorrem em profusão nas fácies de alternâncias de quartzitos com pelitos do “Quartzito Armoricano”, que afloram desde a Serra de S. Mamede ao litoral de Viana do Castelo, são incontestavelmente os icnofósseis de invertebrados mais reconhecidos. Desde as popularmente conhecidas Cobras Pintadas de Penha Garcia à Bicha Pintada de Vila de Rei, estas formas bilobadas, frequentemente ornamentadas com uma estriação em V e serpenteantes por larga extensão a muro das camadas, não ficaram indiferentes às comunidades locais nem ao imaginário colectivo. Nery Delgado foi o pioneiro no seu estudo em Portugal, dedicando às *Cruziana* e a outros icnofósseis coetâneos duas monografias, embora as tenha interpretado como moldes de algas castanhas do grupo das sifonáceas (Neto de Carvalho, 2010). A sua reinterpretção como escavações de alimentação (e não pistas de locomoção: Fig. 2) de trilobites (ou animais anatomicamente convergentes) teve um amplo contributo da excepcional preservação das *Cruziana* do grupo *rugosa* encontradas em Penha Garcia. Aqui, a larga exposição dos planos de estratificação, com mais de 60° de inclinação, permite acompanhar as estratégias de busca de alimento, que se infere como tendo sido detritos orgânicos, das trilobites que produziram estas *Cruziana*, presumivelmente asafídeos gigantes, ao longo do seu ciclo de vida. Desde o momento em que não teriam mais de 3 mm quando assentaram no fundo no estádio meráspide de crescimento, até que atingiriam quase meio metro de comprimento! (Neto de Carvalho et al., 2020, 2021).

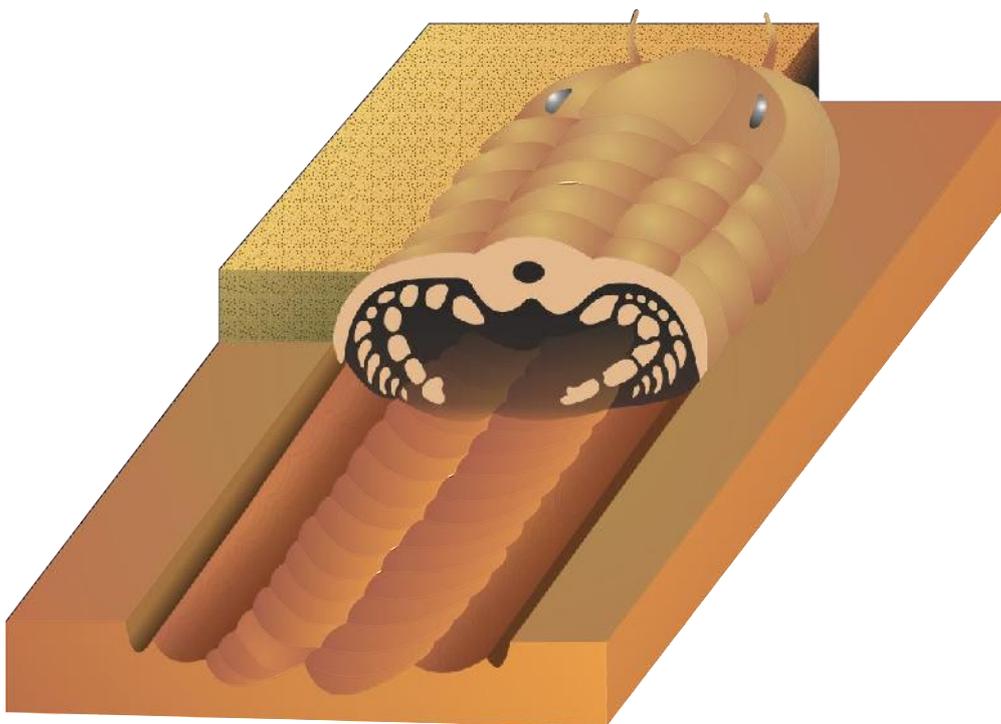


Figura 2 – Esquema tridimensional de preservação de *Cruziana* entre camadas de areia e de argila, enquanto escavação produzida por trilobites em busca de alimento (arte de Nuno Dias).

As extraordinárias dimensões de *Cruziana rugosa* em Penha Garcia, que reflectem os organismos que as produziram, poderão ser o resultado de uma tendência filética das trilobites para o gigantismo que teve um pico durante o Grande Evento de Biodiversificação do Ordovícico, aproximadamente há 465 Ma (Bell and Braddy 2012). Em Penha Garcia, as trilobites gigantes que produziram as *Cruziana rugosa* estavam adaptadas a águas mais frias, assim como a baixos níveis de oxigénio junto do fundo, com acesso a abundantes recursos alimentares e possivelmente sujeitos a uma baixa pressão de predação como consequência de grandes variações nos índices de salinidade, sendo consequência de um modo de vida em ambientes deltaicos, sujeitos a frequentes tempestades (Neto de Carvalho & Baucon, 2016).

O estudo das impressionantes *Cruziana* de Penha Garcia desde a década de 80 e, sobretudo, nos últimos 27 anos, permitiu a concretização da Rota dos Fósseis e do Parque Icnológico de Penha Garcia, os quais foram decisivos para que as autoridades políticas locais avançassem em 2003 para a classificação do primeiro Geoparque Mundial da UNESCO em Portugal (Geopark Naturtejo).

Referências bibliográficas

- BAYET-GOLL, A. & NETO DE CARVALHO, C. 2020. Architectural evolution of a mixed-influenced deltaic succession: Lower-to-Middle Ordovician Armorican Quartzite in the southwest Central Iberian Zone, Penha Garcia Formation (Portugal). *International Journal of Earth Sciences*, 109, 2495–2526.
- BELL, M.A. & BRADDY, S.J. 2012. Cope's rule in the Ordovician trilobite family Asaphidae (order Asaphida): patterns across multiple most parsimonious trees. *Historical Biology* 24(3), 223-230.
- CRISPIM, L., CHICHORRO, M., SANTOS, T.B., LINNEMANN, U., HOFMANN, M. & NETO DE CARVALHO, C. 2022. U-Pb zircon geochronology of metasedimentary and igneous rocks from Penha Garcia-Salvaterra do Extremo sector, Central Iberian Zone. In: Jensen, S. (Ed.), *Abstract Book of the International Meeting "Ossa Morena and beyond: a tribute to Teodoro Palacios"*, Univ. de Extremadura, Badajoz, January 26th-27th, 9-10.
- KIRSCHVINK, J.L. 1992. Late Proterozoic low-latitude global glaciation: The snowball Earth. In: Schopf, J.W. & Klein, C. (Eds.), *The Proterozoic Biosphere: A Multidisciplinary Study*. Cambridge University Press, UK, 51–52.
- NETO DE CARVALHO, C. 2010. The extended Trilobite: 525 million years feeding imagination. *Publicaciones del Seminario de Paleontologia de Zaragoza*, 9, 7-12.
- NETO DE CARVALHO, C. & BAUCON, A. 2016. Giant trilobite burrows and their paleobiological significance (Lower-to-Middle Ordovician from Penha Garcia, Portugal). *Comunicações Geológicas*, 103 (I), 71-82.
- NETO DE CARVALHO, C., BAUCON, A., BAYET-GOLL, A. & BELO, J. 2021. The Penha Garcia Ichnological Park at Naturtejo UNESCO Global Geopark (Portugal): a Geotourism Destination in the Footprint of the Great Ordovician Biodiversification Event. *Geoconservation Research*, 4 (1). <http://dx.doi.org/10.30486/qcr.2021.1913338.1051>.

NETO DE CARVALHO, C., BAYET-GOLL, A., BAUCON, A. & ABIQUI, M. 2020. Feeding behavior of giant trilobites from the Penha Garcia Ichnological Park (UNESCO Naturtejo Global Geopark, Portugal). *International Journal of Earth Sciences*, 109(8), 2825–2827.

PALACIOS, T. 1989. Microfósiles de pared orgânica del Proterozoico superior (región central de la Península Ibérica). *Memorias del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza*, 3(2), 91 pp.

PU, J.P., BOWRING, S.A., RAMEZANI, J., MYROW, P., RAUB, T.D., LANDING, E.D., MILLS, A., HODGIN, E., & MACDONALD, F.A. 2016. Dodging snowballs: Geochronology of the Gaskiers glaciation and the first appearance of the Ediacaran biota. *Geology*, 44 (11), 955.

SAN JOSÉ, M.A., Sequeira, A.J.D., Herranz, P. & Sousa, M. 1995. Nuevos datos sobre la sucesión del CXG (Grupo das Beiras): Evidencia sedimentaria del origen glacioderivado de las fácies conglomeráticas de la fm. del Cabeço de Popas, en la región de Monfortinho (Portugal Central). *XIII RGOP/PICG*, 319-320.

SEQUEIRA, A.J.D. 2011. Microfósseis do Grupo das Beiras (Monfortinho-Salvaterra do Extremo, Beira Baixa, Portugal Central). *Comunicações Geológicas*, 98, 55-60.



Capítulo 4

E depois das “Cobras Pintadas”: os estratos e os fósseis do Ordovícico Médio-Silúrico do Sinclinal de Penha Garcia

S. PEREIRA¹

1. Centro de Geociências, Universidade de Coimbra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal, ardi_eu@hotmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Estratigrafia, Paleontologia, Paleoambientes, Ensino Secundário

RESUMO: A sequência sedimentar do Ordovícico Médio ao Silúrico do Sinclinal de Penha Garcia, representada por nove formações litoestratigráficas, regista as alterações sedimentológicas de deposição em condições ambientais distintas, resultado de variações eustáticas e eventos globais, e as consequentes modificações nas comunidades biológicas do passado. É um recurso educativo que permite aplicar de forma prática os conhecimentos adquiridos na sala de aula, nomeadamente a identificação e interpretação de litologias, de sequências estratigráficas, de fósseis e dos paleoambientes que estes registam.

KEYWORDS: *Stratigraphy, Paleontology, Paleoenvironments, Secondary Education*

ABSTRACT: *The sedimentary sequence from the Middle Ordovician to the Silurian of the Penha Garcia Syncline, represented by nine lithostratigraphic formations, records the sedimentological changes of deposition under distinct environmental conditions, resulting from eustatic variations and global events, and the consequent modifications in the biological communities of the past. It is an educational resource that allows to apply in a practical way the knowledge acquired in the classroom, namely the identification and interpretation of lithologies, stratigraphic sequences, fossils and the paleoenvironments they record.*

1. Introdução

Célebre pelos seus icnofósseis de *Cruziana* (Neto de Carvalho, 2006), marcas de atividade orgânica popularmente descritas como “cobras pintadas”, a sequência paleozoica do Sinclinal de Penha Garcia, após a deposição dos quartzitos que definem a formação com o mesmo nome (Bayet-Goll & Neto de Carvalho, 2020), inclui o registo de 25-30 milhões de anos adicionais. Protegida pelas “muralhas” quartzíticas, há uma sequência sedimentar do Ordovícico Médio ao Silúrico que tem recebido menos atenção. Após um primeiro contributo de Perdigoão (1971), a presença do Ordovícico Superior foi comprovada em definitivo por Young (1988) e só muito recentemente foi reconhecido o Silúrico (Pereira *et al.*, 2022).

Tomando os programas das disciplinas de Biologia e Geologia do 10º e 11º (temas I e IV, respetivamente) e da disciplina de Geologia do 12º ano de escolaridade (tema II) como exemplo, a sequência do Paleozoico inferior do Sinclinal de Penha Garcia é um recurso educativo que não necessita de

equipamento especial para ser utilizado. Permite aplicar de forma prática os conhecimentos adquiridos na sala de aula, nomeadamente a identificação e interpretação de litologias, de sequências estratigráficas, de fósseis e dos paleoambientes que estes registam. Além disso, as visitas de campo realizadas no Ensino Secundário são referidas por muitos geólogos seniores como a principal razão do despertar da sua vocação geológica. Fazem a diferença!

2. Estratigrafia e Paleontologia: o que temos hoje

A sequência sedimentar ordovícica-silúrica que se sobrepõe à Formação Penha Garcia (vulgo quartzito armoricano) regista não só as alterações sedimentológicas de deposição em condições ambientais distintas, resultado de variações eustáticas e eventos globais, mas também as consequentes modificações nas comunidades biológicas, espelhando ainda a evolução das biotas que se estabeleceram após a grande extinção fini-ordovícica, a segunda maior da história da Terra. Esta sequência está afetada por metamorfismo regional de muito baixo grau, gerando rochas de textura foliada. Felizmente, este metamorfismo não obliterou a estrutura interna das unidades sedimentares (que são aqui descritas pelo nome dos seus protólitos sedimentares), nem os fósseis que estas preservam. Uma área significativa do Sinclinal de Penha Garcia e, por conseguinte, muitas das suas secções mais representativas, localiza-se na Herdade de Vale Feitoso, de acesso restrito. Estas secções encontram-se assinaladas por (P).

2.1. Ordovícico Médio – Grupo Cácemes

Formação Brejo Fundeiro (idade: Oretaniano). 110m de argilitos cinzento-escuros e violáceos (Fig. 1A), ricos em pirite, massivos, sem estruturas reconhecíveis. Com abundantes fósseis de moluscos bivalves (Fig. 1B), trilobites e graptólitos (Fig. 1C), e raros equinodermes (crinoides e cistoides), braquiópodes e moluscos rostroconchas e cefalópodes, frequentemente completos, evidenciando pouco ou nenhum transporte *post-mortem*. Estes são sobretudo organismos bentónicos, com exceção dos cefalópodes e dos graptólitos, hemicordados coloniais pelágicos que permitem uma determinação cronostratigráfica precisa (fósseis de idade). Secções representativas desta unidade observam-se na Barragem de Penha Garcia, Fonte do Cuco, Ribeira do Reça e Cabeço da Cacheira (P).

Formação Monte da Sombadeira (Dobrotiviano). 40m de camadas decimétricas de arenitos esbranquiçados e cinzento-claros (Fig. 1D), exibindo estratificação cruzada *hummocky*, intercalados no topo por argilitos e arenitos ferruginosos bioturbados. Estes últimos estão caracterizados por uma associação monoespecífica de uma espécie índice de braquiópode em acumulações lumachélicas. Adicionalmente, ocorrem raras trilobites. Observa-se na Barragem de Penha Garcia, Veiga da Senhora e Portela dos Lobos.

Formação Fonte da Horta (Dobrotiviano). 70m de argilitos cinzentos, com intercalação de níveis ricos em ferro e camadas finas de arenitos claros.

Unidade muito fossilífera, com trilobites (Fig. 1E), braquiópodes (Fig. 1F), moluscos bivalves e gastrópodes, ostracodos (pequenos crustáceos), briozoários, conularídeos (hipotéticos cnidários primitivos) e raros graptólitos. Observa-se na Veiga da Senhora, Ribeira do Reca, Portela dos Lobos, Ribeiro da Nave (P), Caminho dos Gadinhos (P) e Ribeira do Esconderejo (P).

Formação Cabril (Dobrotiviano). De difícil caracterização por limitação de afloramentos, está representada por menos de 50m de arenitos e quartzitos claros, intercalando siltitos bem laminados. Por vezes exibem estratificação *hummocky* e são ocasionalmente ferruginosos. Os fósseis são raros, em associações monoespecíficas de braquiópodes que constituem níveis lumachélicos. Observa-se na Barroca do Tendeiro, Portela dos Lobos (P), Caminho dos Gadinhos (P) e Fonte das Lascas (P).

2.2. Ordovícico Superior – Grupos Sanguinheira e Rio Ceira

Formação Louredo (Berouniano). O contacto com a unidade subjacente representa um hiato estratigráfico de vários milhões de anos (paraconformidade), marcado por um nível de ferro (Camada Favaçal), localmente oolítico (Fig. 1G). Sobre este nível assentam cerca de 240m de argilitos azuis e violáceos, bioturbados e micáceos, com nódulos de fosfato, seguidos de arenitos e siltitos laminados, terminando com uma sequência de argilitos verdes e arenitos (Membro Vaca) “selada” a topo por brecha ferruginosa. Os fósseis são raros na parte inferior da unidade (trilobites), mas no Membro Vaca são abundantes, representando vários grupos de organismos bentónicos: trilobites, braquiópodes, moluscos bivalves e gastrópodes (Fig. 1H), briozoários e ostracodos. Observa-se na Portela dos Lobos (P), Entre Serras (P), Arraial de Entre Serras (P) e Lameiro das Queimadas (P).

“Unidade não formalizada” (Hirnantiano). Em paraconformidade com a unidade subjacente, esta sequência regressiva com cerca de 70m inicia-se por argilitos azul-escuros, muito laminados e bioturbados que passam progressivamente a ritmitos constituídos por sequências decimétricas de argilitos/arenitos (Fig. 1K). Apenas se conhecem icnofósseis *Nereites* (Fig. 1J), estruturas de bioturbação compostas na sua maioria por pistas horizontais milimétricas. Pode observar-se em Entre Serras (P), Arraial de Entre Serras (P), Alto dos Capitos (P) e Esconderejo (P).

Formação Casal Carvalhal (Hirnantiano). Argilitos e siltitos negros, massivos, com clastos rolados de arenitos (Fig. 1L) e exibindo estruturas sinsedimentares: estratificação convoluta, camadas *slumpizadas* de arenitos e estruturas *ball & pillow* (Fig. 1M). O topo da unidade está representado por arenitos amarelados. Não são conhecidos fósseis. Pode observar-se em Entre Serras (P) e no Alto dos Capitos (P).

2.3. Silúrico inferior

Formação Vale da Ursa (Llandovery). Quartzitos em camadas métricas (Fig. 1N), com contactos erosivos, exibindo estruturas de deformação sinsedimentar e clastos de argilitos. Não são conhecidos fósseis. Observa-se em Entre Serras (P), Arraial de Entre Serras (P) e Alto dos Capitos (P).

Formação Aboboreira (Llandovery). Argilitos negros grafitosos, ricos em matéria orgânica, laminados e piritizados, intercalando camada de arenito com abundantes clastos de argilito. Os argilitos contêm fósseis de organismos pelágicos: graptólitos variados (Fig. 1O) e raros cefalópodes (orthocerídeos). Observa-se nas linhas de água de Entre Serras (P) e Arraial de Entre Serras (P) e no Alto dos Capitos (P), onde, por alteração, os argilitos são claros.

3. Paleoambientes: o que tínhamos “ontem”

A sequência descrita foi depositada numa plataforma marinha silicilástica, pouco profunda, com muito baixa inclinação ($<0,1^\circ$, Brenchley *et al.*, 1986). Após a deposição da Formação Penha Garcia, notável pelos seus fósseis de *Cruziana*, uma transgressão deu início à sedimentação massiva dos argilitos escuros da Formação Brejo Fundeiro, tendo o restante Grupo Cácemes sido depositado durante fase regressiva. A taxa de sedimentação seria elevada (restos esqueléticos completos) e a energia do meio baixa (decantação das argilas e preservação de estruturas frágeis, como as dos graptólitos). O fundo marinho seria bem oxigenado, permitindo o estabelecimento da biota bentónica, mas a preservação de graptólitos em vários níveis sugere episódios de baixa oxigenação e condições redutoras. A deposição das unidades areníticas (formações Monte da Sombadeira e Cabril) foi controlada sobretudo pela ação da ondulação e de tempestades, como sugerido pela estratificação *hummocky*. Nestas condições de elevado hidrodinamismo seria difícil o estabelecimento de comunidades bióticas estáveis, favorecendo os organismos oportunistas que, em intervalos de maior estabilidade, constituíam associações monoespecíficas (por exemplo, braquiópodes). Os restos esqueléticos produzidos eram rapidamente transportados e acumulados por ação de correntes de fundo, gerando-se níveis lumachélicos. A Camada Favaçal corresponde a uma superfície de máxima inundação (Young, 1992), após a qual se inicia nova fase regressiva, marcada pela deposição da Formação Louredo, sob a ação da ondulação e correntes em fundos com elevada atividade orgânica (bioturbação). A existência de períodos mais calmos, permitiria às biotas estabelecerem-se, mas a intercalação com eventos de maior agitação (tempestades) não favoreceu a preservação dos restos esqueléticos. O nível de brecha ferruginosa a topo da unidade poderá representar o final da fase regressiva, com eventual emersão, justificando o hiato estratigráfico que se segue. O Grupo Rio Ceira e a Formação Vale da Ursa ter-se-ão depositado durante nova fase regressiva, uma descida generalizada do nível médio do mar que tem sido atribuída à glaciação fini-ordovícica. A sedimentação iniciou-se em contexto de plataforma externa, mais profunda, com condições de baixa energia e fundos pobres em oxigénio, permitindo esporadicamente a colonização por organismos (representados por icnofósseis *Nereites*). A subsequente diminuição da profundidade conduziu a

maior influência da ondulação e aporte de areia (ritmitos). A Formação Casal Carvalho é interpretada como tendo origem glaciogénica, sendo correlacionável com depósitos de todo o sudoeste da Europa e norte de África (Brenchley *et al.*, 1991).

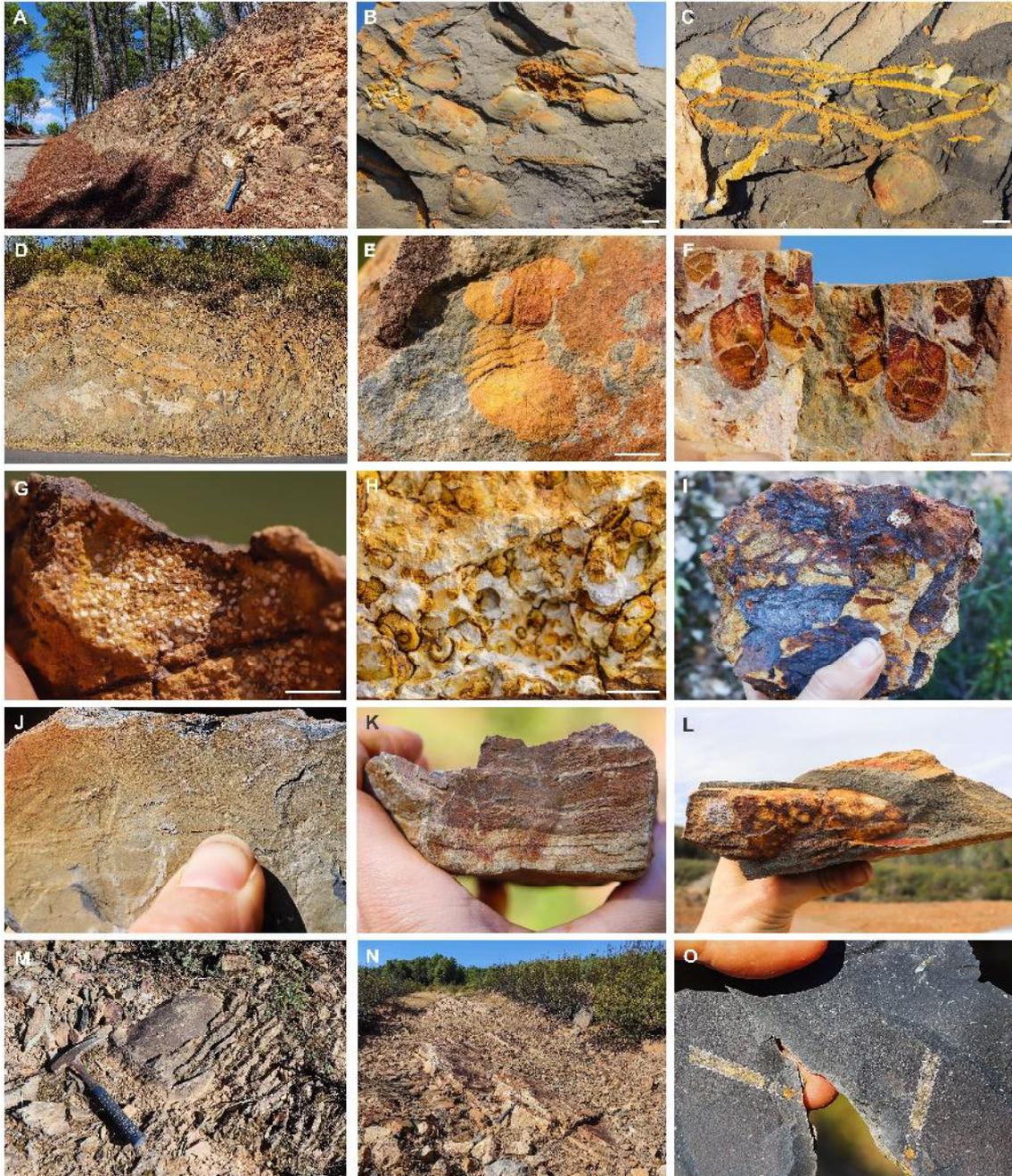


Figura 1 – Alguns aspetos das unidades estratigráficas e fósseis do Ordovícico Médio-Silúrico do Sinclinal de Penha Garcia. Fm Brejo Fundeiro (Barragem de Penha Garcia): A, afloramento; B, fósseis de bivalves e C, de graptólitos. Fm Monte da Sombadeira: D, base da unidade (Barragem de Penha Garcia). Fm Fonte da Horta: fósseis de E, trilobite e F, braquiópodes (Portela dos Lobos). Fm Louredo: G, oólitos de ferro (Lameiro das Queimadas), H, fósseis de gastrópodes (Portela dos Lobos) e I, brecha ferruginosa (Entre Serras). J, “Unidade não formalizada” (Entre Serras): J, icnofósseis *Nereites* e K, ritmitos. Formação Casal Carvalho: L, clasto de arenito (Entre Serras) e M, estratificação concêntrica (“pillow”, Alto dos Capitos). Formação Vale da Ursa: O, fósseis de graptólitos (Entre Serras). Escala=1cm.

Porém, as fácies diamictíticas típicas desta unidade noutras regiões, não foram reconhecidas em Penha Garcia. As estruturas sinsedimentares preservadas, resultado de liquefação e sobrecarga de sedimentos não consolidados, bem como os clastos de arenitos (provavelmente arrancados de unidades subjacentes), sugerem que a sedimentação ocorreu em condições de muito baixa profundidade, numa plataforma afetada por correntes de alta energia, que prevaleceram até ao início do Silúrico, durante a deposição da Formação Vale da Ursa. Esta ter-se-á formado em condições mais proximais, possivelmente litorais, com episódios de elevada taxa de sedimentação intercalados com outros de erosão (bases erosivas e clastos de argilitos “arrancados” de unidades subjacentes). Finalmente, uma fase transgressiva permitiu a deposição da Formação Aboboreira. Os argilitos muito laminados indicam maior estabilidade da plataforma, em condições mais distais, embora os areníticos com clastos de argilito indiquem que episódios de alta energia continuariam a acontecer ocasionalmente. O depósito de argilas muito ricas em matéria orgânica sugere um fundo com baixo teor de oxigénio, impróprio para o estabelecimento de comunidades bentónicas, mas permitindo a preservação dos restos somáticos de organismos pelágicos (graptólitos e cefalópodes) e da matéria orgânica.

Referências bibliográficas

- BAYET-GOLL, A & NETO DE CARVALHO, C., 2020. Architectural evolution of a mixed-influenced deltaic succession: Lower-to-Middle Ordovician Armorican Quartzite in the southwest Central Iberian Zone, Penha Garcia Formation (Portugal). *International Journal of Earth Sciences*, 109.
- BRENCHLEY, P. J., ROMANO, M. & GUTIÉRREZ-MARCO, J. C. 1986. Proximal and distal hummocky cross stratified fácies on a wide Ordovician shelf in Iberia, 241-255. In KNIGHT, R. J. & MCLEAN, J. R. (eds.), *Shelf sands and sandstones*, Canadian Society of Petroleum Geologists memoirs, 2.
- BRENCHLEY, P.J., ROMANO, M., YOUNG, T.P. & ŠTORCH, P. 1991. Hirnantian glaciomarine diamictites – evidence for the spread of glaciation and its effect on Upper Ordovician faunas. In: C.R. Barnes, S.H. Williams (Eds.). *Advances in Ordovician Geology*. Geological Survey of Canada, Paper 90-9.
- NETO DE CARVALHO, C., 2006. Roller coaster behaviour in the Cruziana rugosa group from Penha Garcia (Portugal): implications for the feeding program of Trilobites. *Ichnos*, 13(4).
- PERDIGÃO, J.C., 1971. O Ordovícico de Fajão, Unhais-o-Velho, Salgueiro do Campo e Penha Garcia. I Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica, Madrid/Lisboa, 2.
- PEREIRA, S., DIAS DA SILVA, Í., COLMENAR, J., PIRES, M., YOUNG, T. & NETO DE CARVALHO, C., 2022. The Penha Garcia Syncline in the Naturtejo Geopark (Portugal): mapping the intricate Ordovician palaeogeography in the Variscan fold chain. In: Jensen, S. (Ed.), *Abstract Book of the International Meeting “Ossa Morena and beyond: a tribute to Teodoro Palacios”*, Univ. de Extremadura, Badajoz.
- YOUNG, TP, 1988. The lithostratigraphy of the upper Ordovician of Central Portugal. *Jour Geol Soc London*, 145.
- YOUNG, TP, 1992. Ooidal ironstones from Ordovician Gondwana: a review. *Palaeo., Palaeo., Palaeoecology*, 99.



Capítulo 5

Os maciços granitóides ordovícicos e tardi-variscos da área do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO - um contributo para a história do Paleozoico em Portugal

I.M.H.R ANTUNES¹ & I. RIBEIRO DA COSTA²

1. Instituto de Ciências da Terra (ICT), Pólo da Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal; imantunes@dct.uminho.pt

2. Departamento de Geologia – Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa, Portugal; imscosta@fc.ul.pt

PALAVRAS-CHAVE: Orogenia Varisca, Castelo Branco, Penamacor, Oledo, Metamorfismo.

RESUMO:

O Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO ocupa um território com cerca de 5067 km², com uma vasta geodiversidade representada por diversas formações geológicas associadas a importantes episódios geológicos ocorridos ao longo da história da Terra. Com este trabalho pretende-se caracterizar algumas das formações granitóides que ocorrem na área do Geopark Naturtejo, bem como, os principais efeitos registados nas formações onde se instalaram, em particular durante os principais eventos de deformação ocorridos no Paleozoico.

A diversidade litológica apresentada e as suas relações espaciais e temporais contribuem para uma melhor compreensão da história geológica, em particular do Paleozoico em Portugal, neste sector da Península Ibérica.

KEYWORDS: *Variscan orogeny, Castelo Branco, Penamacor, Oledo, Metamorphism.*

ABSTRACT: *The Naturtejo Geopark occupies an area of about 5067 km² and includes wide geodiversity represented by several lithological formations associated with important geological episodes that occurred throughout the Earth's history. The purpose of this study has been to characterize some of the granitoid formations that occur in the Naturtejo Geopark area, as well as the main effects recorded in their host-rocks, and during the main deformation events in the Paleozoic period.*

The lithological diversity presented here, and its relative spatial and temporal relationships will contribute to a better understanding of the geological history, in particular of the Paleozoic period in Portugal, in this sector of the Iberian Peninsula.

1. Introdução

A Era Paleozoica ou Paleozoico representa a mais antiga e mais longa das três eras geológicas do Fanerozoico, com duração entre 541 Ma e 252 Ma, estando dividida em seis períodos. Ao longo destes cerca de 300 milhões de anos, dramáticas mudanças geológicas, climáticas e evolutivas foram registadas na história da Terra. Para além da mais rápida e ampla diversificação da vida na

Terra – Explosão Câmbrica – terminou com o maior evento de extinção da história da Terra, o evento de extinção Pérmico-Triássico.

A história geológica de Portugal está marcada pela ocorrência de dois ciclos orogénicos bastante importantes – a Orogenia Caledónica (desde o Ordovícico ao início do Devónico; 490-390 Ma) e a Orogenia Hercínica ou Varisca (desde final do Devónico ao Pérmico; 380-280 Ma).

Na área do Geopark Naturtejo ocorrem diversas formações graníticas de idade paleozoica que intruem o Grupo das Beiras, anteriormente conhecido como Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico. Neste trabalho, serão apresentadas as principais características de três maciços graníticos, de idade pré-Varisca (maciço de Oledo) e tardi-Varisca (maciços de Penamacor-Monsanto e de Castelo Branco), bem como, os principais aspetos associados à sua intrusão. Estes maciços graníticos são um importante contributo para a história do Paleozoico em Portugal.

2. O Paleozoico no Geopark Naturtejo

O Geopark Naturtejo está inserido na Zona Centro Ibérica da Península Ibérica, onde diversas formações granitóides ocorrem distribuídas pelo Grupo das Beiras (GB), de idade Neoproterozoico. O Super-Grupo Dúrico-Beirão forma uma extensa sequência detrítica do tipo *flysch* (turbiditos), constituída essencialmente por filitos e metagrauvaques com níveis esporádicos de metaconglomerados e rochas metacarbonatadas, individualizando-se duas unidades litoestratigráficas principais - *Grupo das Beiras* e *Grupo do Douro* (Sousa 1985; Ribeiro et al. 1990). O Geopark Naturtejo ocorre em grande extensão na formação do *Grupo das Beiras*.

2.1. Grupo das Beiras

O GB é representado por uma sequência enriquecida em metagrauvaques, na base, seguida de pelitos e metagrauvaques e intercalações de pelitos negros e piritosos e, no topo, uma sucessão predominantemente pelítica, com lenticulas de metaconglomerados. Estes materiais são de idade Neoproterozoico (<600-542 Ma); ocorrem por toda a área do Geopark Naturtejo constituindo o seu substrato geológico mais antigo (Figura 1).

As rochas metassedimentares do GB estão afetadas pelas diversas fases do metamorfismo regional, de idade Varisca, predominantemente de pressão baixa a intermédia, tendo originado associações mineralógicas caracterizadas por andaluzite, biotite, silimanite e cordierite.

O metamorfismo nesta região está, também, associado ao magmatismo Varisco da ZCI, originando auréolas de metamorfismo de contacto, que se sobrepõem ao metamorfismo regional Varisco, polifásico (Oen 1970; Reavy 1989). A intrusão do maciço de Penamacor-Monsanto produziu uma auréola de metamorfismo de contacto, nem sempre visível em afloramento e aparentemente discordante com as estruturas regionais, com uma largura cartografada entre 1000 e 2500 m (Neiva & Campos 1992), em que os efeitos do metamorfismo térmico se sobrepõem ao metamorfismo regional Varisco.

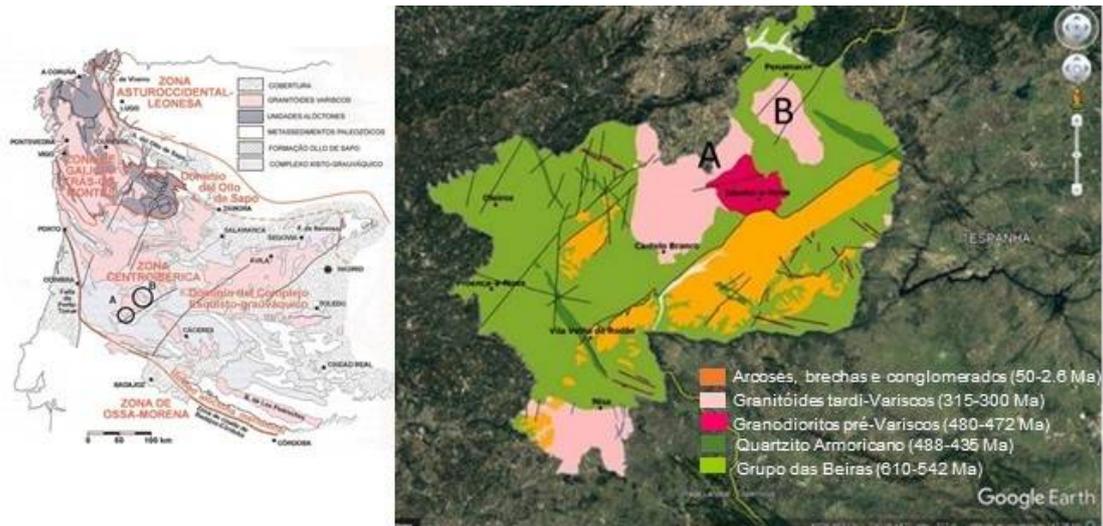


Figura 1 – Os maciços granitóides de Oledo e de Castelo Branco (A), e de Penamacor-Monsanto (B) na Zona Centro-Ibérica Branco (Martínez Catalán et al. 2004) e sua localização no Geopark Naturejo (adaptado de Naturtejo 2020)

Junto ao contacto com o maciço de Penamacor-Monsanto, é de referir a ocorrência local de rochas extremamente ricas em turmalina (20-90% de turmalina), designadas por turmalinitos, com variações na sua textura e associação mineralógica. Estas rochas poderão corresponder à turmalinização do encaixante ou a precipitação direta de turmalina, em resultado da ação de fluidos magmáticos residuais, enriquecidos em elementos como o boro, e talvez outros elementos, e circulando em fraturas da zona de contacto do maciço granítico (Ribeiro da Costa et al. 2014, 2021).

A instalação do maciço granítico de Castelo Branco, por sua vez, produziu uma auréola de metamorfismo de contacto com cerca de 2 km de espessura, apresentando micaxistos na zona externa e corneanas pelíticas na zona interna (Antunes 2020). O maciço de Oledo, por sua vez, não apresenta fácies de metamorfismo de contacto associada à sua instalação (Antunes et al. 2009).

O GB é sobreposto em discordância angular por formações metassedimentares do Ordovício Inferior, Médio e Superior, assim como de parte do Silúrico Inferior (ca. 480-433 Ma), que ocorrem sob a forma de unidades mais ou menos espessas. Estas unidades do Paleozoico Inferior, organizadas em grandes dobras sinclinais, com orientação geral NW-SE (Figura 1), representam imponentes relevos residuais na paisagem do Geopark Naturtejo, de que se destacam as Portas de Rodão e as cristas quartzíticas de Penha Garcia.

2.2. Maciços granitóides

A maioria das classificações propostas para as rochas granitóides da ZCI são baseadas na idade da sua implantação relativamente à terceira fase de deformação Varisca (D3), variando entre sin-tectónicos e tardi- a pós-tectónicos (e.g., Oen 1970; Ferreira et al. 1987; Neiva & Gomes 2001; Dias et al. 2002; Azevedo et al. 2005). Os granitóides sin-tectónicos tendem a ocupar o núcleo de antiformas da terceira fase de deformação, enquanto os tardi- a pós-

tectónicos definem, em geral, contactos discordantes com as estruturas regionais (e.g., Ribeiro et al. 1990; Ramírez & Grundvig 2000).

Na área do Geopark Naturtejo, dominam os granitóides Variscos, essencialmente monzogranitos, granodioritos e leucogranitos de duas micas (Antunes et al. 2008; Ribeiro da Costa et al. 2013) e, localmente, granitóides pré-Variscos (Antunes et al. 2009).

O maciço granítico de Penamacor-Monsanto corresponde a um pequeno plutão com cerca de 216 km² e alongado na direção NW-SE (Figura 1), ocorrendo no núcleo de um antiforma da terceira fase de deformação Varisca. É um plutão zonado, em que as rochas graníticas marginais correspondem a monzogranitos e granodioritos peraluminosos relativamente heterogéneos, quer no detalhe textural, quer mineralógico, mesmo dentro de cada uma das suas fácies (Neiva & Campos 1992, 1993).

O maciço granítico de Castelo Branco é um plutão zonado, que aflora numa área de 390 km² e é constituído por cinco diferentes fácies graníticas, cuja composição varia entre granito e granodiorito, dependendo da predominância relativa de feldspato alcalino e de plagioclase. As cinco fácies graníticas estão dispostas concêntricamente, definindo um raro zonamento inverso, com uma idade de 310±1 Ma (Antunes et al. 2008), sendo classificado como tardi-Varisco. As rochas graníticas do maciço de Castelo Branco não apresentam deformação evidente, sendo possível a identificação de estruturas de fluxo magmático, através do alinhamento dos fenocristais nas fácies porfiróides.

O maciço granítico de Castelo Branco contacta na sua extremidade leste com um outro maciço granítico, o maciço de Oledo, de idade mais antiga, do Ordovícico Inferior, i.e. 479-480 Ma (Figura 1). Este maciço ocupa uma área de 260 km², com um diâmetro médio de 14 km, sendo composto predominantemente por três granodioritos e um granito. Apresenta estruturas magmáticas alinhadas e orientadas com a deformação local, provavelmente resultante das fases da orogenia Caledoniana e Varisca (Antunes et al. 2009).

Dispersas pela área, e cobrindo os materiais Paleozoicos, ocorrem as rochas mais recentes (últimos 50 Ma), representadas pelos depósitos de cobertura, arcósico-argilosos, com arcoses, brechas e conglomerados (Figura 1).

Agradecimentos

Este trabalho está inserido no âmbito dos projetos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020, FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P.

Referências bibliográficas

ANTUNES, I.M.H.R., NEIVA, AMR, SILVA, M.M.V.G. & CORFU, F. 2009. The genesis of I- and S-type granitoid rocks of the Early Ordovician Oledo pluton, Central Iberian Zone (central Portugal). *Lithos*, 111, 168-185.

ANTUNES, I.M.H.R., NEIVA, A.M.R., SILVA, M.M.V.G. & CORFU, F. 2008. Geochemistry of S- type granitic rocks from the reversely zoned Castelo Branco pluton (central Portugal). *Lithos* 103 (3/4), 445 – 465.

- ANTUNES, I.M.H.R. 2020. As Origens do Barrocal. In Parque do Barrocal – 310 milhões de anos em construção, Neto Carvalho & Barão (coord). Município de Castelo Branco, Capítulo II, 31-69.
- AZEVEDO, M.R., VALLE AGUADO, B., NOLAN, J., MARTINS M. & MEDINA J. 2005. Origin and emplacement of syn-orogenic Variscan granitoids in Iberia - the Beiras massif. In: Carosi R., Dias R., Lacopini D., Rosenbaum G. (Eds.), The southern Variscan belt, J. Virtual Explorer, Electronic Edition, 19, Paper 7.
- DIAS, G., SIMÕES, P.P., FERREIRA, N. & LETERRIER, J. 2002. Mantle and Crustal Sources in the Genesis of Late-Hercynian Granitoids (NW Portugal): Geochemical and Sr-Nd Isotopic Constraints. *Gondwana Research*, 5, 287-305.
- FERREIRA, N., IGLÉSIAS, M., NORONHA, F., PEREIRA, E., RIBEIRO, A. & RIBEIRO, M.L. 1987. Granitóides da zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. F. Bea, A. Carmina, J.C. Gonzalo, M.L. Plaza, J.M.L. Rodrigues (Eds.), *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico*. Libro Homenage a L.C.G. Figueirola. Editorial Rueda, Madrid, 37-53.
- MARTÍNEZ CATALÁN, J.R.M., GONZÁLEZ, L.F., GONZÁLEZ CLAVIJO, E., FERNANDEZ RODRÍGUEZ, C. & DÉZ MONTES, A. 2004. Macizo Ibérico: Estructura. In: Vera JA (Eds.), *Geología de España*. Inst. Geol. Min. España (SGE-IGME), Madrid. 75 – 78.
- NEIVA, A.M.R. & CAMPOS, T.F.C. 1992. Genesis of the zoned granitic pluton of Penamacor-Monsanto, Central Portugal. *Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra*, 114, 51-68.
- NEIVA, A.M.R. & CAMPOS, T.F.C. 1993. The zoned granitic pluton of Penamacor-Monsanto, Central Portugal: hydrothermal alteration. *Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra*, 116, 21-47.
- NEIVA, A.M.R. & GOMES, M.E.P. 2001. Diferentes tipos de granitos e seus processos petrogenéticos: granitos hercínicos portugueses. *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa*, XXXIX, 53-95.
- OEN, Y.S. 1970. Granite intrusion, folding and metamorphism in central northern Portugal. *Bol. Geol. Minero*, tomo LXXXI, fasc. II e III, 271-298.
- RAMÍREZ, J.A. & GRUNDTVIG, S. 2000. Causes of geochemical diversity in peraluminous granitic plutons: the Jalama pluton, Central-Iberian Zone (Spain and Portugal). *Lithos* 50, 171-190.
- REAVY, R.J. 1989. Structural controls on metamorphism and syn-tectonic magmatism: The Portuguese Hercynian collision belt. *J. Geol. Soc. London*, 146, 649-657.
- RIBEIRO DA COSTA I., ANTUNES, I.M.H.R. & RÉCIO, C.I. 2021. The Mg/(Fe + Mg) ratio and the Ti and A site contents of tourmaline as promising indicators of granitic magma evolution. *Journal of Iberian Geology* 47, 307-321.
- RIBEIRO DA COSTA, I., ANTUNES, I.M.H.R., FARINHA RAMOS, J.M., RÉCIO, C., BARRIGA, F.J.A.S., MOURÃO, C. & FERREIRA, N. 2013. Aspectos petrográficos do metamorfismo de contacto associado ao plutão granítico de Penamacor-Monsanto. *Comunicações Geológicas* 100/1, 89-98. ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X.
- RIBEIRO, A., QUESADA, C. & DALLMEYER, R.D. 1990. Geodynamic Evolution of the Iberian Massif. In: Dallmeyer R.D., Martinez Garcia (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, Berlin, 399-409.
- SOUSA, M.B. 1985. Perspectiva sobre os conhecimentos actuais do Complexo Xisto-Grauváquico de Portugal. *Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra*, 100, 1-16.



Capítulo 6

Cartografia geológica: cartografando histórias do oceano até às cadeias de montanhas

N. MOREIRA¹

¹. Instituto de Investigação e Formação Avançada da Universidade de Évora; Instituto de Ciências da Terra (ICT) – Pólo de Évora; nafm@uevora.pt

PALAVRAS-CHAVE: Cartografia Geológica, Maciço Ibérico, Orógeno Varisco

RESUMO: A Cartografia Geológica tem um papel fundamental na reconstrução da história geológica de uma região. A caracterização cuidada das unidades geológicas e das suas sucessões litológicas, das estruturas geológicas primárias e secundárias à mesoescala e das relações estratigráficas e de corte permitem não apenas a construção das cartas geológicas, mas também estabelecer as relações temporais entre os diversos eventos ocorridos. A partir desta caracterização é possível estabelecer também os paleoambientes deposicionais, a paleogeografia, a evolução pós-deposicional e as relações entre o relevo e as características geológicas, permitindo não apenas interpretar os padrões cartográficos, mas também os processos que os geraram. O estabelecimento dos modelos evolutivos que permitem explicar os eventos ocorridos é contudo um exercício de abstração, interconectando dados de natureza multivariada. Os modelos são, por isso mesmo, modelos, que podem e devem ser testados, pelo que devem ser separados dos dados, esses de natureza factual. O Maciço Ibérico caracteriza-se por espessas sucessões de rochas metamórficas (de origem sedimentar) com idades compreendidas entre o Ediacárico ao Carbónico, mostrando evoluções tectono-metamórficas díspares, as quais são intruídas por corpos ígneos plutónicos resultantes de diversos pulsos magmáticos. A interpretação dos dados existentes, de natureza multivariada (bio- e cronoestratigráficos, estruturais, petrogenéticos, entre outros) evidencia uma história que se inicia num oceano passado, durante o Pré-Câmbrico, e que culmina no interior de uma cadeia de montanhas no Paleozoico superior (Cadeia Varisca).

KEYWORDS: *Geological Mapping, Iberian Massif, Variscan Orogeny*

ABSTRACT: Geological mapping plays a fundamental role in the reconstruction of the geological history of a region. The careful characterization of the geological units and their lithological successions, the primary and secondary geological structures and the stratigraphic and cross-cutting relationships allow the construction of geological maps and the establishment of the temporal relationships between the several events which occurred. Through this characterization, it is also possible to establish the depositional paleoenvironments, the paleogeography, the post-depositional evolution and the relationships between relief and geological features, thus allowing not only to interpret the cartographic patterns, but also the processes that generated them. The establishment of the evolutionary models that explain cartographic patterns is an abstraction exercise, interconnecting data of a multivariate nature. Therefore, models are just models, which can and should be tested, so they must be separated from the data, which are of a factual nature. The Iberian Massif is characterized by thick

successions of metamorphic rocks (of sedimentary origin) with ages ranging from the Ediacaran to Carboniferous, showing different tectono-metamorphic paths, which are intruded by plutonic bodies resulting from various magmatic pulses. The interpretation of existing data, of a multivariate nature (bio- and chronostratigraphic, structural, petrogenetic, among others), highlights a history that begins in an ancient ocean, during Pre-Cambrian times, and culminating within a mountain range (Variscan Range) during Upper Paleozoic.

1. Introdução

A Cartografia pode ser entendida com uma atividade científico-técnica que pretende representar graficamente uma área ou região, objetos, fenómenos físicos, químicos, ambientais, socioeconómicos, demográficos, entre outros. A representação cartográfica baseia-se num conjunto de operações científicas e técnicas, mas também artísticas, que pretendem reproduzir os dados obtidos por observação direta ou instrumental e/ou através da análise e interpretação de documentação de natureza variada (e.g. imagens de satélite).

Este processo tem como resultado final a produção de uma carta que é geralmente definida como uma representação gráfica plana/bidimensional (embora em resultado do avanço técnico e científico, já se considerem cartas multidimensionais; e.g. Malolepszy, 2005), realizada a uma determinada escala. Se aplicarmos a definição à geologia, pode então definir-se uma carta geológica como uma representação bidimensional da diversidade geológica (geodiversidade) de uma região, país ou até astro, tão fielmente quanto a sua escala o permita.

Deste os levantamentos de campo, ao trabalho laboratorial complementar, a elaboração de uma carta geológica pressupõe sempre uma limitação intrínseca ao(s) próprio(s) geólogo(s) que realiza(m) os trabalhos, em resultado da sua área de especialização e da época em que foi realizada, uma vez que o conhecimento científico e as técnicas aplicadas são alvo de constante evolução implícita à ciência. Este trabalho pretende dar uma visão holística da cartografia geológica, abordando de que forma a análise da informação contida nas cartas geológicas permite a interpretação dos fenómenos geológicos, tendo o Maciço Ibérico como estudo de caso.

2. Cartografia geológica: os multiníveis de informação

A cartografia geológica é uma cartografia multiníveis, isto é, com vários níveis de informação, contendo geralmente informação litológica, estratigráfica, estrutural e geográfica, podendo também apresentar outros níveis de informação (e.g. paleontológica, recursos minerais, atividade extrativas, etc.).

No que respeita à informação geográfica, esta compõe a base cartográfica que inclui informação geográfica considerada relevante, nomeadamente informação geoespacial (i.e. coordenadas), toponímica, hidrográfica e dos acessos, sendo que a quantidade de informação geográfica é tanto mais pormenorizada quanto maior a escala. Há contudo um outro nível de informação geográfica fundamental na geologia: a topografia. Sendo uma carta geológica um objeto bidimensional, a representação do relevo não é tridimensional e, como tal, o relevo é representado por linhas que unem pontos de igual altitude – curvas de

nível – e pontos cotados de altimetria (incluindo marcos geodésicos). Esta informação é fundamental para a interpretação dos relevos e a sua ligação às condicionantes geológicas (objeto de estudo da geomorfologia).

No que concerne à informação litológica, convém desde logo enfatizar que é impossível cartografar as variações litológicas existentes à escala de afloramento (mesoescala), nomeadamente para as escalas cartográficas utilizadas na cartografia oficial. Para além disso, essa variação mesoscópica tem muitas vezes pouco significado cartográfico. Desta forma, para a execução de cartas geológicas são identificadas (e formalizadas) unidades cartográficas, nomeadamente com auxílio da estratigrafia (nas múltiplas variantes). Entenda-se por unidade cartográfica uma categorização de áreas passíveis de serem representadas na carta geológica que apresentem características litológicas, físico-químicas e/ou cronológicas próprias e diferenciáveis das demais. As unidades cartográficas formais podem ter diversas categorias, sendo divididas consoante a natureza das unidades, as propriedades litológicas dos materiais que as compõe e/ou tendo em conta o conceito cronológico utilizado (i.e. cronoestratigráfico, bioestratigráfico). Na cartografia geológica, três tipologias de unidades estão geralmente representadas nos mapas geológicos:

- Unidades cronoestratigráficas – Correspondem a sucessões referentes a um intervalo de tempo geológico. São geralmente utilizadas em cartas geológicas de pequena escala, onde se diferenciam as principais unidades cronológicas (geralmente sistemas ou séries).
- Unidades Litoestratigráficas – Correspondem a sucessões litológicas individualizadas e delimitadas com base nas suas características estratigráficas. Apresentam geralmente topo e base bem definidas. A sua categoria hierárquica fundamental é a Formação (Fig. 1).
- Unidades Litodémicas – Correspondem a massas rochosas com características próprias e distintas das envolventes, e que, apesar de não seguirem as regras da sucessão de unidades litoestratigráficas, podem ser delimitadas e mapeadas. Incluem-se aqui corpos intrusivos ou de natureza tectono-metamórfica bem definida. A sua categoria hierárquica fundamental é o Litodema (Fig. 1).

Em sumula, as cores e simbologias das unidades representadas nas cartas geológicas podem representar diferentes litologias (ou associações litológicas) ou diferentes idades.

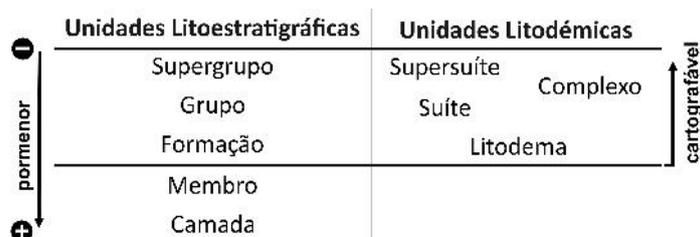


Figura 1 – Hierarquização das unidades litoestratigráficas e litodémicas e as suas equivalências de escala.

Como referido, as unidades cartográficas devem ser distinguidas umas das outras pelas suas características genéticas, estratigráficas, litológicas, ou estruturais, sendo que os seus contactos, isto é, a superfície que separa as unidades cartográficas distintas, podem apresentar naturezas diversas. Define-se três tipologias de contactos geológicos tendo em conta a sua natureza:

- Contatos Estratigráficos (ou deposicionais) – Desenvolvidos por rochas que se acumularam verticalmente (i.e. rochas sedimentares e vulcânicas extrusivas). Estes contactos podem ser divididos em: (1) conformidades, quando se acumularam continuamente sem interrupção significativa no processo de deposição ou (2) discordâncias, quando há um hiato temporal na acumulação vertical, demarcado por uma superfície com características próprias.
- Contatos Tectónicos – Desenvolvem-se em resultado da atuação da tectónica, sendo demarcado por acidentes de diferentes magnitudes. Estes contactos podem colocar lado a lado unidades com idades totalmente distintas, podendo inclusive inverter cronologicamente as sucessões (i.e. unidades mais antigas sobrepostas às mais recentes).
- Contatos Intrusivos – Desenvolvem-se entre duas unidades distintas onde pelo menos um dos corpos é intrusivo. Estes contactos são típicos de rochas ígneas plutónicas e filonianas (diques, soleiras), sendo também identificados em rochas sedimentares evaporíticas.

Outro nível de informação fundamental na elaboração de cartas geológicas é a informação estrutural, uma vez que estes dados permitirão a interpretação dos padrões cartográficos exibidos. Quanto maior e mais complexa a deformação exibida pelas unidades geológicas cartografadas, mais importante os dados deste cariz, uma vez que os mesmos serão essenciais na interpretação da natureza das unidades. Distinguem-se duas tipologias de estruturas:

- Estruturas Primárias – Características geométricas e texturais que resultam dos processos formação de um corpo rochoso, essenciais para a compreensão dos processos genéticos. Específicas das rochas sedimentares e magmáticas, podem surgir em rochas metamórficas. São exemplos a estratificação, figuras sedimentares, bioturbação, lavas em almofada ou texturas de fluxo em rochas plutónicas.
- Estruturas Secundárias – Configurações geométricas e texturais originadas após a génese das rochas sedimentares e magmáticas, geralmente associadas com processos de deformação e metamorfismo (muitas vezes articulados). São exemplos as dobras (e seus elementos), veios, foliações, lineações, falhas e zonas de cisalhamento.

3. Reconstrução da história geológica; o papel da Cartografia Geológica

Face ao exposto, nesta secção far-se-á uma análise sucinta da geologia do Maciço Ibérico (MI), com enfoque nas características do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO (Fig. 2). Face às características estratigráficas, tectono-metamórficas e magmáticas díspares existentes no MI, o mesmo foi seccionado em diversas zonas tectono-estratigráficas, entre as quais destacar-se-ão ao longo do texto a Zona Centro Ibérica (ZCI) – onde se localiza o

Geopark Naturtejo – e a Zona de Ossa-Morena (ZOM). O MI caracteriza-se por espessas sucessões de rochas metamórficas, de origem sedimentar, com idades compreendidas entre o Ediacárico ao Carbónico. Estas rochas mostram evoluções tectono-metamórficas díspares, muito embora em diversos locais o metamorfismo seja de muito baixo grau, permitindo o reconhecimento das estruturas primárias. As rochas meta-sedimentares mais antigas conhecidas no MI, com idades constrangidas por métodos diversos, são incluídas dentro de duas grandes unidades geológicas: o Supergrupo Dúrico-Beirão (informalmente conhecido por Complexo Xisto-grauváquico), aflorante na ZCI, e no “Grupo” Série Negra, na ZOM. Em ambos os casos, a idade destas unidades varia entre o Ediacárico e a base do Câmbrico. Contrariamente ao que acontece na ZOM, onde a sucessão câmbrica se encontra bem definida entre o Câmbrico inferior e médio, na ZCI as unidades câmbricas são inexistentes. Sobre as sucessões anteriores deposita-se um conjunto de formações de natureza marinha de plataforma, com idades praticamente contínuas entre o Ordovícico e o Devónico Inferior (na área do Geopark Naturtejo a sucessão aflorante vai apenas até ao Silúrico). A inexistência de unidades câmbricas cartografadas na ZCI (Fig. 2) é indicativo de um hiato de sedimentação neste período geológico nesta zona, em resultado de processo geológico à escala regional. De referir ainda que no topo deste hiato (Ordovícico Inferior) surge um importante evento magmático, responsável pela génese de corpos de natureza vulcânica e plutónica. No Devónico surge um novo hiato na sedimentação. Contudo, pontualmente, afloram unidades do Devónico Médio e do Carbónico (do Mississíppico e do Pennsylvânico) com características próprias e indicativas de um câmbio nas condições de sedimentação. Tal facto a juntar ao tectonismo e metamorfismo afetando as sucessões meta-sedimentares previamente mencionadas também intrudidas por corpos magmáticos com idades entre o Devónico Superior e o Pérmico são indicativos de uma nova mudança geodinâmica no MI.

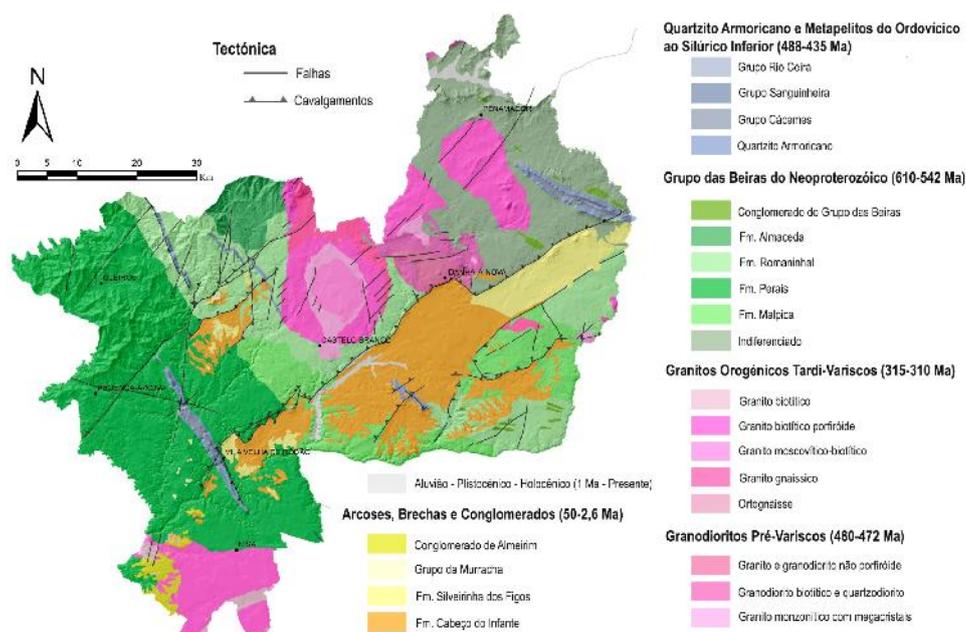


Figura 2 – Carta Geológica da área do Geopark Naturtejo (adaptado de Atlas do Ambiente, cedida pelo Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO).

Este câmbio é interpretado como resultante da génese de uma cadeia orogénica (Cadeia Varisca), com espessamento crustal, resultante do processo de deformação, e conseqüente aquecimento da litosfera, que justifica não apenas o metamorfismo regional, mas também os abundantes corpos magmáticos.

Após este processo, a evolução meso-cenozóica do MI é dominada pela erosão que coloca a nu o núcleo desta cadeia de montanhas, mas também pelo tectonismo (e sedimentação) durante o Cenozóico em resultado do Ciclo Alpino, responsável por alguns dos mais emblemáticos relevos nacionais.

Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais atribuídos pela FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do programa de financiamento do ICT (Refs UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020).

Referências bibliográficas

MALOLEPSZY, Z. (2005). Three-dimensional geological maps. In: OSTAFICZUK, S. (eds), *The Current Role of Geological Mapping in Geosciences*, Springer, 215–224.



Capítulo 7

O registo sedimentar e geomorfológico da região do Geopark Naturtejo, como arquivo da evolução geológica de Portugal central nos últimos ~50 milhões de anos

PEDRO PROENÇA CUNHA¹

¹. Universidade de Coimbra, MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Ciências da Terra – FCTUC; pcunha@dct.uc.pt

PALAVRAS-CHAVE: Registo tectono-sedimentar, Geoformas, Paleopaisagens, Evolução geológica, Cenozoico.

RESUMO: Sintetizam-se as sucessivas fases tectónicas que, associadas aos coevos contextos climáticos e eustáticos, determinaram a evolução geológica e do relevo de Portugal continental durante o Cenozoico. Caracterizam-se, seguidamente, as unidades morfo-estruturais. Finalmente, o enfoque é feito na região do Geopark Naturtejo.

KEYWORDS: *Tectono-sedimentary record, Geoforms, Paleolandscapes, Geological evolution, Cenozoic.*

ABSTRACT: *The successive tectonic phases which, in association with the coeval climatic and eustatic settings, determined the geological and relief evolution of mainland Portugal during the Cenozoic, are here described. Finally, the focus is done to the Naturtejo Geopark region.*

1. Introdução

Na Península Ibérica, a progressiva denudação do Maciço Hespérico e o coevo enchimento das bacias sedimentares mesozoicas (situadas a leste e a oeste) originou no Cretácico Inicial uma vasta região de fraco relevo – um vasto aplanamento, localmente com relevos de resistência (quartzíticos ou granitóides). Relativamente à Margem Ocidental Ibérica, a sua génese e evolução inicial foi determinada por uma etapa distensiva com várias fases de rifte (dos ~240 aos ~115 Milhões de anos (Ma)), seguida de uma etapa de margem continental passiva. Contudo, aos ~80 Ma (meados do Campaniano, Cretácico Final) este vasto aplanamento começou a ser deformado por se ter iniciado compressão intraplaca N-S (Pirenaica). Aos ~48 Ma (início do Eocénico Médio) a compressão intraplaca aumentou e gerou na Península Ibérica amplos dobramentos litosféricos com eixo WSW-ENE, cujas sinformas deram origem, em Portugal, às bacias cenozóicas do Mondego, Baixo Tejo e Alvalade (Fig. 1). Durante o Paleogénico, fracas mas vastas drenagens foram coevas da continuação do aplanamento do Maciço Hespérico, sob climas áridos a semi-áridos. A partir dos ~24 Ma (Aquitaniense), a compressão incrementou e passou a fazer-se segundo NW-SE (Bética); continuou o

aplanamento do soco e drenagens exorreicas, sob clima subtropical. Aos ~9.7 Ma (meados do Tortoniano) atingiu-se o clímax da compressão intraplaca, conduzindo à génese de estruturas tectónicas compressivas de tipo desligamento, “push-up” e “pop-up”, com soerguimento de importantes relevos e génese de leques aluviais no sopé. Dos ~9,7 aos 3,7 Ma, os leques aluviais eram endorreicos e o clima tropical seco. Dos ~3,7 aos 1,8 Ma, o clima foi quente e húmido; os leques aluviais desenvolveram-se espacialmente e ficaram tributários de sistemas fluviais exorreicos (com nível do mar a cerca de +25 m), correspondendo aos ancestrais dos rios actuais. Em contexto de contínuo soerguimento crustal, a mudança dos altos níveis eustáticos do Neogénico para os baixos durante os climas frios do Quaternário, causou a presente etapa de incisão fluvial, com provável início a ~1,8 Ma. Produziu escadarias de terraços, vales epigénicos estreitos, gargantas e cascatas nas roturas de declive longitudinal (ex. Cunha, 1992, 1996, 2019; Cunha et al., 2016, 2019; de Vicente et al., 2011, 2018).

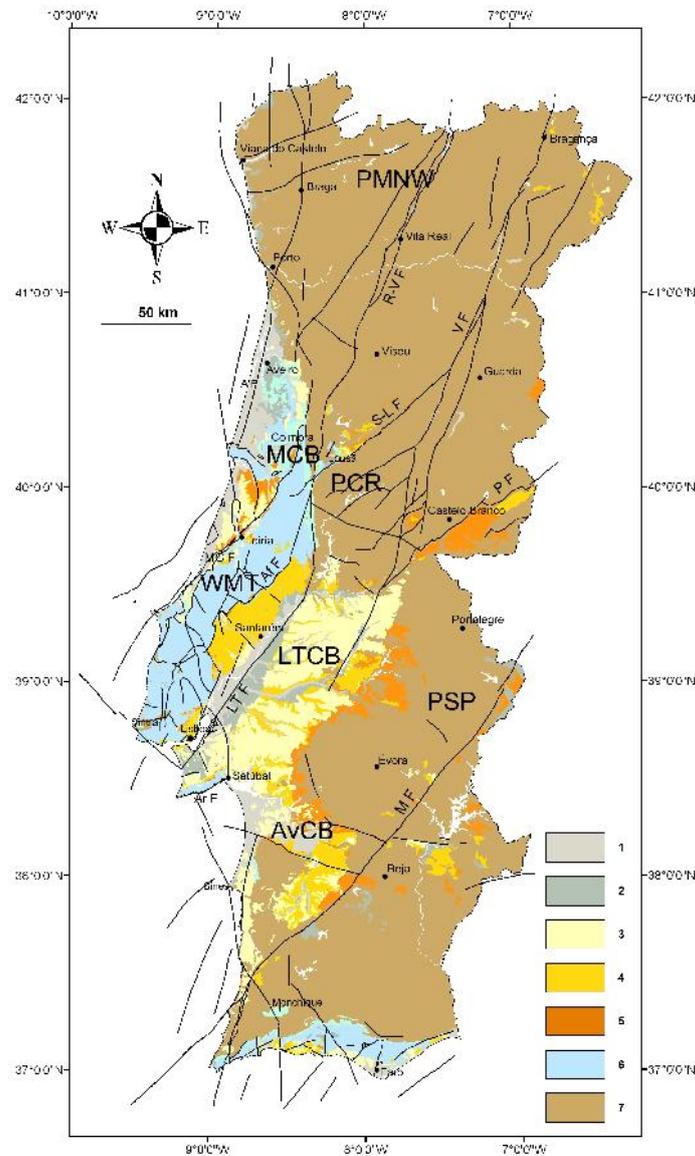


Figura 1 – Bacias cenozóicas e principais falhas, em Portugal continental (Cunha, 2019). 1 - Holocénico; 2 - Pleistocénico; 3 - Pliocénico; 4 - Miocénico; 5 - Paleogénico; 6 - Mesozoico; 7 -

Paleozoico e Proterozoico; PMNW - Planaltos e Montanhas do NW Portugal; MCB - Bacia Cenozóica do Mondego; PCR - Cordilheira Central Portuguesa; WMT - Terrenos Mesozóicos Ocidentais; LTCB - Bacia Cenozóica do Baixo Tejo; AvCB - Bacia Cenozóica de Alvalade; PSP - Planaltos do Sul de Portugal; A F - Falha de Aveiro; Af F - Falha de Arrife; Ar F - Falha de Arrábida; LT F - Zona de falha do Vale Inferior do Tejo; M F - Falha de Messejana; MG F - Falha de Marinha Grande; P F - Falha do Ponsul; R-V F - Falha de Penacova-Régua-Vérin; S-L F - Seia-Lousã; V F - Falha de Bragança-Vilariça-Manteigas.

Em Portugal continental diferenciam-se as seguintes unidades morfoestruturais (ex. Cunha & Martins, 2004; Pereira et al., 2019):

- Constituídas essencialmente por materiais do Maciço Hespérico (MH): Planaltos e Montanhas do norte de Portugal; Cordilheira Central Portuguesa; e Planaltos do Sul de Portugal.
- Constituídas por materiais mesozóicos: Terrenos Mesozóicos Ocidentais e Meridionais.
- Constituídas por materiais cenozóicos: Bacias cenozóicas do Mondego, do Baixo Tejo, de Alvalade e do Algarve.

Planaltos e Montanhas do noroeste de Portugal

Constituem vasta superfície de aplanamento desnivelada em três grandes compartimentos, delimitados pelas falhas de desligamento de Penacova-Régua-Chaves (PRC) e de Manteigas-Vilariça-Bragança (MVB), a altitudes predominantes entre 600 e 1000 m. A movimentação tectónica durante o final do Cenozoico originou: os relevos de Nogueira e Bornes, bem como as depressões de Vilariça e Longroiva, associados à falha de MVB; os relevos de Padrela-Falperra, Alvão, Marão, Montemuro, Freita e Caramulo, associados à falha de PRC.

O essencial do levantamento dos relevos de Montesinho e Peneda-Gerês deve ser anterior, associado à Cordilheira Cantábrica. Para leste da falha de MVB, o aplanamento do soco liga-se geomorfologicamente à Bacia Cenozóica do Douro.

Cordilheira Central Portuguesa

Tem orientação geral NE-SW resultante de falhas inversas que soergueram diversos compartimentos. Esta cordilheira e a sua continuação para SW (Maciço Calcário Estremenho) separam a Bacia Cenozóica do Mondego da Bacia Cenozóica do Baixo Tejo. Tem um compartimento mais soerguido a NE (Serra da Estrela, ~2000 m) predominantemente granítico, e um outro a sudoeste (Serras da Gardunha, Açor e Lousã) predominantemente constituído sobretudo por metassedimentos.

Planaltos do Sul de Portugal

Constituem uma superfície aplanada, aos 300-400 m de altitude, sobre um substrato essencialmente metassedimentar, por vezes granitóide e, localmente, de rochas máficas. Os Planaltos do Sul de Portugal compreendem: a

Plataforma de Castelo Branco e a Plataforma de Nisa, desniveladas pela falha inversa do Ponsul; e a Plataforma do Alto Alentejo, que está desnivelada por várias falhas, de que se destacam a falha de Vidigueira-Moura, do Alentejo-Plasencia e de São Marcos-Quarteira. A Plataforma de Castelo Branco está separada por escarpas tectónicas que a separam dos blocos levantados situados a NW e da Plataforma de Nisa (a SE). A Plataforma de Nisa é uma área maioritariamente granítica com formas suaves e reduzida incisão fluvial. Da Plataforma do Alentejo sobressaem alguns relevos residuais, com destaque para as cristas quartzíticas da Serra de S. Mamede. Os maiores desnivelamentos tectónicos são os associados à falha da Vidigueira (E-W) e falha de São Marcos-Quarteira (NW-SE).

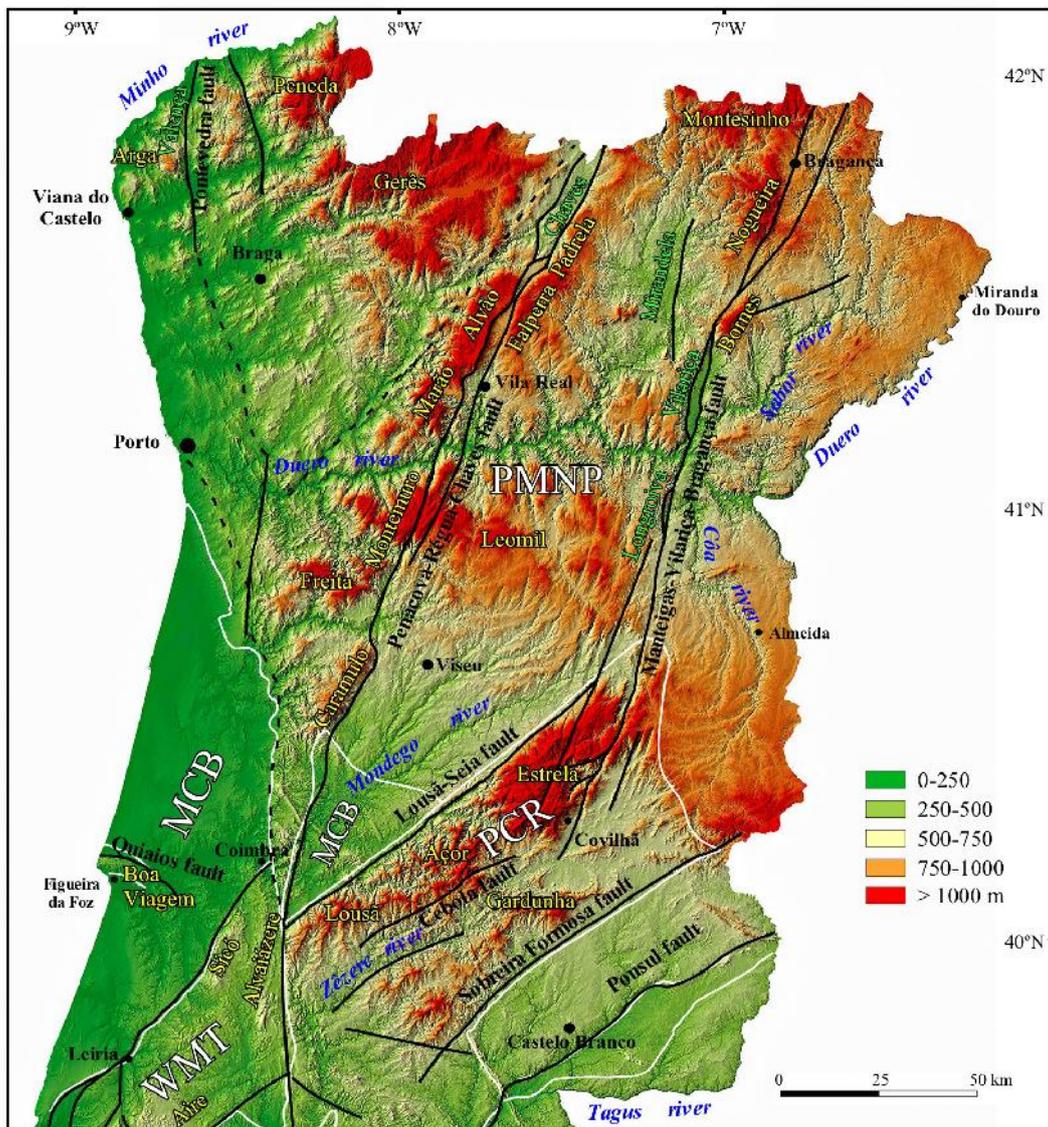


Figura 2 – Principais características geomorfológicas do norte e centro de Portugal. Nomes de montanhas a amarelo. Bacias associadas a desligamentos com nomes a verde. A preto o traçado e nomes de falhas. Acrónimos das principais unidades geomorfológicas a branco (vidé Fig. 1) (Pereira et al., 2019).

Terrenos Mesozóicos Ocidentais

Os Terrenos Mesozóicos Ocidentais são constituídos, essencialmente, pelo Maciço Calcário Estremenho, Serra de Sintra, Serra da Arrábida e Serra da Boa Viagem. O Maciço Calcário Estremenho (680 m) tem um típico modelado cársico, desenvolvidos em calcários do Jurássico Médio. Compreende os relevos anticlinais de Candeeiros, Aire e Montejunto. Merecem destaque os planaltos de Santo António e de São Mamede, separados pelas depressões tectónicas de Minde, Alvados e Mendiga. A Serra de Sintra (529 m) é um relevo constituído por um maciço granítico e por rochas sub-vulcânicas, bem como por calcários mesozóicos. A Serra da Arrábida (501 m) e a Serra da Boa Viagem (262 m) são relevos calcários monoclinais que se salientam na plataforma litoral. Existem alguns outros relevos menores. As Colinas Calcárias do Baixo Mondego são pequenas colinas de baixa altitude, calcárias e com cobertura siliciclástica pliocénica, dominadas pela erosão fluvial. As Serras Calcárias de Condeixa-Sicó-Alvaiázere apresentam modelado calcário, com padrão de relevo reticulado pela densa erosão fluvial. As Colinas Calcárias do Oeste correspondem a um sector dominado por calcários do Jurássico Superior. As Serras e Colinas entre Montejunto e Lisboa correspondem a um sector com colinas em calcários e rochas vulcânicas. Um aspecto fundamental no relevo de algumas áreas sedimentares está relacionado com a tectónica diapírica, induzida por evaporitos e depois condicionada pela compressão cenozóica.

Terrenos Mesozóicos Meridionais

Os Terrenos Mesozóicos Meridionais são constituídos por litologias mesozóicas da margem algarvia, condicionados pela tectónica cenozóica e pela incisão quaternária. A Serra Calcária Algarvia situa-se no prolongamento para sul dos relevos xistosos da Serra do Caldeirão, com relevos calcários definindo estruturas alongadas E-W. A Colinas Calcárias do Algarve situam-se entre a Serra Calcária Algarvia e a Plataforma Litoral, com a qual tem limites difusos.

Bacia Cenozóica do Mondego

A paisagem da Bacia Cenozóica do Mondego diferencia-se em duas regiões separadas pelo Maciço Marginal de Coimbra, um relevo fini-Cenozoico com uma importante falha (PRC) no seu limite leste. A leste deste relevo, o enchimento sedimentar mesozóico e cenozóico está preservado numa depressão tectónica limitada pela falha PRC e pela falha da Lousã. Ao longo das escarpas da falha PRC e da falha da Lousã, leques aluviais fini-cenozóicos ainda existem junto a Góis, Miranda do Corvo e Mortágua. A Superfície Sedimentar Culminante ainda se preserva nos montes de Sacões (600 m) e Santa Quitéria (492 m). Nesta região existem largos vales epigénicos, com escadarias de terraços e meandros encaixados. A ocidente do Maciço Marginal de Coimbra, a paisagem expressa-se por uma vasta Plataforma Litoral, com a Superfície Sedimentar Culminante entre ~150 m (a este) a ~70 m (o oeste, junto ao litoral atlântico). A Plataforma Litoral está desnivelada localmente pela

tectónica activa e exhibe vales fluviais epigénicos com escadarias de terraços, bem como campos dunares eólicos.

Bacias Cenozóicas do Baixo Tejo e de Alvalade

A paisagem destas bacias está dominada pela platitude da Superfície Sedimentar Culminante, com altitude decrescendo para jusante desde ~260 m (a leste, junto à fronteira espanhola) a ~65 m (a oeste, junto ao litoral atlântico). O Rio Tejo apresenta um máximo de seis níveis de terraços, acima da planície aluvial, e diferencia-se geomorfologicamente em vários troços separados por falhas. Junto ao litoral existem campos dunares e escadarias de terraços costeiros. Merecem destaque os estuários do Tejo e do Sado.

Bacia Cenozóica do Algarve

Na área terrestre algarvia documenta-se uma vasta superfície de aplanamento elaborada sobre rochas do soco, bem como do Mesozoico ao Miocénico, coberta por unidade siliciclástica com depósitos de génese aluvial a marinha (do Pliocénico final ao Gelasiano). De oeste a este, o litoral algarvio exhibe íngremes arribas nas duras litologias do Carbonífero e do Jurássico, arribas mais sinuosas suaves nas litologias mais brandas do Miocénico e Pliocénico e, finalmente, uma costa baixa que inclui o sistema de ilhas barreiras-laguna da Ria Formosa.

A região do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO insere-se em parte da Serra da Estrela (sector NE da Cordilheira Central Portuguesa) e da Plataforma de Castelo Branco (Planaltos do Sul de Portugal) (ex. Cunha et al., 2020).

Referências bibliográficas

- Cunha, P.P. 1992. Estratigrafia e sedimentologia dos depósitos do Cretácico Superior e Terciário de Portugal Central, a leste de Coimbra. PhD thesis, Univ. Coimbra.
- Cunha, P.P. 1996. Unidades litostratigráficas do Terciário da Beira Baixa (Portugal). *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, 82: 87-130.
- Cunha, P.P. 2019. Cenozoic Basins of Western Iberia: Mondego, Lower Tejo and Alvalade basins. In: C. Quesada & J.T. Oliveira (eds). *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach. Regional Geology Reviews*, Springer International Publishing, Vol. 4 – Cenozoic Basins, Chapter 4, pp. 105-130.
- Cunha, P.P. & Martins, A. 2004. Principais aspectos geomorfológicos de Portugal central, sua relação com o registo sedimentar e a importância do controlo tectónico. In: Araújo M.A., Gomes A. (eds) *Geomorfologia do NW da Península Ibérica*, Fac. Letras Univ. Porto, pp. 155-182.
- Cunha, P.P., Martins, A.A. & Gouveia, M.P. 2016. As escadarias de terraços do Ródão à Chamusca (Baixo Tejo) – caracterização e interpretação de dados sedimentares, tectónicos, climáticos e do Paleolítico. *Estudos do Quaternário*, 14: 1-24.
- Cunha, P.P., de Vicente, G. & Martín-González, F. 2019. Chapter 5 - Cenozoic Sedimentation Along the Piedmonts of Thrust Related Basement Ranges and Strike-

Slip Deformation Belts of the Iberian Variscan Massif. pp. 131-165. In: C. Quesada & J.T. Oliveira (eds). *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach*. Springer, Vol. 4 – Cenozoic Basins. DOI: 10.1007/978-3-030-11190-8

Cunha, P.P., Martins, A.A., Gomes, A. & Bridgland, D.R. 2020. Landscapes and Landforms of the Beira Baixa Region (Sarzedas–Monfortinho, eastern central mainland Portugal). Chapter 16, pp. 199-210; In: G. Vieira, J.L. Zêzere & C. Mora (Eds.), *Landscapes and Landforms of Portugal, World Geomorphological Landscapes*. Springer, DOI: 10.1007/978-3-319-03641-0_16

de Vicente, G., Cloetingh, S., Van Wees, J.D. & Cunha, P.P. 2011. Tectonic classification of Cenozoic Iberian foreland basins. *Tectonophysics*, 502(1-2): 38-61.

de Vicente, G., Cunha, P.P.; Muñoz-Martín, A., Cloetingh, S., Olaiz, A. & Vegas, R. 2018. The Spanish-Portuguese Central System: an example of intense intraplate deformation and strain partitioning. *Tectonics*, 37, 4444–4469.

Pereira, D.I., Cunha, P.P. & Pereira, P. 2019. Relief evolution and associated geodynamic processes in mainland Portugal (western Iberia). In Chapter 5 - Active Landscapes of Iberia, pp. 77-124, In: *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach*. Springer, Vol. 5 – Active Processes: Seismicity, Active Faulting and Relief; DOI: 10.1007/978-3-030-10931-8_5



Capítulo 8

Geoturismo: abordagens inovadoras ao usufruto e valorização da Paisagem

C. NETO DE CARVALHO¹ & J. RODRIGUES²

1. Município de Idanha-a-Nova, Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO; IDL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. carlos.praedichnia@gmail.com

2. Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO. joana.rodrigues@naturtejo.com

PALAVRAS-CHAVE: Geoturismo, Turismo de Natureza, Geoparques, Geoprodutos, Educação para o Desenvolvimento Sustentável

RESUMO: O Geoturismo é a incorporação da Geodiversidade e do Património Geológico na oferta turística. O papel do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO na estruturação da oferta turística, com consequências presentes e futuras para o desenvolvimento sustentável do território, é salientado com vários exemplos desenvolvidos ao longo das últimas duas décadas.

KEYWORDS: *Geotourism, Nature Tourism, Geoparks, Geoproducts, Education for Sustainable Development*

ABSTRACT: *Geotourism is the incorporation of Geodiversity and Geological Heritage into the tourist offer. The role of the Naturtejo UNESCO Global Geopark in structuring the tourism offer, with present and future consequences for the sustainable development of the territory, is highlighted with several examples developed over the last two decades.*

1. Geoturismo: do conceito à prática

O Geoturismo, conceito recente e nicho do turismo sustentável com crescimento exponencial no mundo nesta última década é, afinal, tão antigo quanto o é a sacralização de paisagens, de rochas, de cavidades subterrâneas, de minerais ou de fósseis, pelo Homem. O Geoturismo pode ser definido como a organização sustentável dos recursos turísticos, da sua protecção, conservação e valorização, da oferta de bens e serviços, da divulgação e promoção (comunicação) do destino, que se estabelece em torno do património geológico (veja-se ainda Farsani et al., 2011). Os destinos geoturísticos multiplicam-se pelo mundo, desde o Grand Canyon e o Parque Nacional do Yellowstone, nos E.U.A., ao Geysir e aos vulcões da Islândia, até ao Uluru (Ayers Rock) na Austrália. O Geoturismo, como segmento do Turismo de Natureza, com relações directas e indirectas com o Turismo Cultural (touring paisagístico, parques mineiros, museus e centros interpretativos), com o Turismo Activo (percursos pedestres, espeleoturismo, ...) e mesmo com o Turismo de Saúde e Bem-estar (termalismo), evoluiu rapidamente com a

expansão exponencial do movimento global de geoparques, a partir de 2000. De facto, a análise científica do Geoturismo é muito recente, com a primeira Conferência Global de Geoturismo, decorrida em 2008, na Austrália. Neste caso, Portugal mantém-se na linha da frente como resultado de um forte entusiasmo criado em torno do conceito de geoparques, nos últimos 15 anos. A 8ª Conferência Europeia de Geoparques organizada no Geopark Naturtejo, em 2009, foi o primeiro evento científico em Portugal dedicado ao Geoturismo (Neto de Carvalho & Rodrigues, 2009). O primeiro livro sobre o tema publicado em Portugal, “Geoturismo e Desenvolvimento Local”, data do mesmo ano (Neto de Carvalho et al., 2009).

Embora o termo Geoturismo tenha passado a ter um uso generalizado a partir do final da década 90, os seus antecedentes datam do séc. XVII. Em Portugal, a história do Geoturismo enraíza-se em tradições mágico-religiosas relacionadas com uma religião cristã “popular”, que remontam há milénios. Numa fase de fundamentação científica de novo segmento de turismo é fundamental reconhecer a sua História no contexto do desenvolvimento do Turismo em Portugal, sobretudo a partir do advento dos Geoparques. Este trabalho corresponde à organização sumária do contributo do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO para a afirmação do Geoturismo em Portugal, com a finalidade de caracterizar e desenhar novos rumos para um nicho em crescimento exponencial, em Portugal e no mundo.

2. Diversificação da Oferta Turística em Portugal: o Turismo de Natureza e o Geoturismo

Apesar da conservação da Natureza em Portugal, como factor de valorização turística, dar os primeiros passos consistentes a partir da década de 30, só a partir de 1970 existe a tomada de consciência efectiva para a necessidade de estabelecer medidas legais na legislação nacional. O novo turismo passa a basear-se na qualidade, na originalidade e na diferença. Aposta numa originalidade menos conhecida, a das Áreas Protegidas, em alternativa ao desenvolvimento formal e às tendências estabelecidas. O Geoturismo, aliado à geoconservação e interpretação, para grupos educativos e recreativos, é um desenvolvimento apenas do final do séc. XX, em termos mundiais. De algum modo acompanha o Ecoturismo, que se desenvolve só a partir do final da década de 80, seguindo o modelo de turismo sustentável, um instrumento efectivo de desenvolvimento regional. No II Congresso Nacional de Turismo, realizado em 1966, Coelho et al. procuram definir critérios para um futuro inventário nacional de valores naturais com relevância turística, salientando o património geológico como factor de motivação turística. O espeleoturismo democratiza-se na década de setenta, nem sempre com as abordagens mais sustentáveis, com a abertura ao público das grutas da Serra d’Aire, entre 1971 e 1974. Só muito recentemente surgiu um novo conceito de gruta turística, promotora de educação ambiental, com o Algar do Pena (Parque Natural da Serra d’Aire e Candeeiros) ou a Gruta das Torres (Ilha do Pico). Os centros de interpretação ambiental aproximam-se dos espaços naturais, preparando o turista para a visita. O exemplo mais carismático é o Centro de Interpretação do Vulcão dos Capelinhos, construído na Ilha do Faial em 2008.

O conceito de Exomuseu de Geologia é desenvolvido por Galopim de Carvalho (1989). Deste trabalho resultou a protecção de 5 Geomonumentos com pegadas de dinossáurios como Monumento Natural, com a abertura ao público, do Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios da Serra d’Aire, em 1997. Embora a figura de Reserva Geológica não tenha prevalecido na legislação nacional, o Parque Paleozóico de Valongo, uma iniciativa do Município de Valongo e da Universidade do Porto, foi criado em 1998 para dinamizar os percursos geoturísticos na Serra de Santa Justa, incluindo a visita aos Fojos romanos. Hoje é Paisagem Protegida Regional das Serras do Porto.

O Programa Nacional de Turismo de Natureza data de 1998. O Plano Estratégico Nacional de Turismo, de 2006, considera 10 produtos turísticos estratégicos, entre os quais o Turismo de Natureza, onde é incluído o Geopark Naturtejo, o primeiro geoparque a ser criado em Portugal e a integrar a Rede Global de Geoparques, hoje correspondendo ao Programa Internacional de Geociências e Geoparques da UNESCO. Desde então (Neto de Carvalho, 2005), suportado por um conhecimento científico de proximidade, por acções de educação para a sustentabilidade e pelo acompanhamento de empresas locais que apostam numa economia de circuitos curtos, em mercados alargados e na cooperação em rede, a Naturtejo, EIM tem vindo a estabelecer no território os critérios para o desenvolvimento de um destino de geoturismo em Portugal.

A valorização do Património Geológico como estratégia para o desenvolvimento do Geoturismo no geoparque (Rodrigues & Neto de Carvalho, 2010a) tem passado por acompanhar de perto projectos de impactes ambientais duradouros, desde parques eólicos, mineiros e centrais fotovoltaicas, evitando a destruição de geomonumentos com a não construção de barragens na Garganta do Zêzere e nas Portas de Almourão (Neto de Carvalho & Rodrigues, 2010). Deu-se ainda com a classificação do Monumento Natural das Portas de Ródão, da Paisagem Protegida Regional da Serra da Gardunha, mas também com os investimentos municipais no Parque Icnológico de Penha Garcia (Neto de Carvalho et al., 2021), na Fraga da Água d’Alta integrada na GeoRota do Orvalho, nos troncos fósseis de Vila Velha de Ródão, no Parque do Barrocal em plena cidade de Castelo Branco (Neto de Carvalho, 2020; Fig. 1), na mina de ouro romana do Conhal do Arneiro e na constituição da Grande Rota do Muradal-Pangeia e sua integração na marca *International Appalachian Trail* (Wylezol & Neto de Carvalho, 2018). O Turismo de Natureza e o Geoturismo são estruturados a partir da constituição de eixos de visitação e exploração dos atractivos naturais, com o reforço das redes municipais de percursos pedestres (Neto de Carvalho & Rodrigues, 2009b), hoje com 60 percursos de pequena e grande rota, mais de 1000 km sinalizados e ainda em crescimento, percursos de BTT e de birdwatching. A esta valorização desenvolvida com a participação constante e decisória das entidades locais (Neto de Carvalho et al., 2011) crescem novas estratégias desenvolvidas recentemente com o sector empresarial.



Figura 1 – O Parque do Barrocal é a mais recente atracção geoturística do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, com vários prémios internacionais de arquitectura, de ecoturismo e o Prémio Geoconservação da ProGEO Portugal para a valorização do seu património geológico.

3. Novas estratégias e Geoprodutos

Um dos problemas que impedem a divulgação das geociências é a falta de conhecimento do público para entendê-la. Portanto, a comunidade científica e, neste caso, os geocientistas produtores de conhecimento, devem ter uma participação mais activa no diálogo com a sociedade. Por outro lado, as sociedades devem reconhecer o papel social das geociências, aumentando o investimento e fortalecendo a qualidade do ensino de ciências. Desta forma, a educação pode ser encarada como uma estratégia que facilita a comunicação entre os diferentes públicos, contribuindo para a promoção da cultura científica e para o sentido de pertença e protecção do património geológico (Farsani et al., 2018).

As geociências lidam principalmente com processos naturais que só são compreendidos por meio de modelos obtidos da observação em campo. Neste sentido, é fundamental estender a sala de aula à análise de exemplos de geodiversidade que se encontram no entorno da escola. A desconstrução de conceitos, processos e métodos é fundamental no processo educativo em geociências, como em qualquer outra Ciência. Por isso, é necessário tornar a comunicação atractiva, capaz de provocar e motivar, despertar o interesse e o prazer em aprender. Esses são os fundamentos da interpretação. O Geoturismo é a incorporação da Geodiversidade e do Património Geológico na oferta turística. Sítios geoturísticos, como geossítios e geoparques, podem ser óptimos lugares para promover a educação formal e não formal (Rodrigues & Neto de Carvalho, 2010b). Entre a diversidade de recursos de interpretação disponíveis, destaca-se a importância de dar ao papel do guia turístico com formação em Geoturismo, painéis interpretativas e apps de suporte à visitação, arte e performance, percursos pedestres auto-guiados e geoprodutos.

Os geoprodutos são produtos tradicionais inovadores, novos ou reinventados, intimamente relacionados ou inspirados pela geodiversidade de um território (Rodrigues et al 2021). Desde um biscoito Trilobite, a um licor 'Entranhas da Terra' ou um azeite produzido a partir de oliveiras centenárias cultivada nos terraços fluviais do Tejo, os Geoprodutos do Geopark Naturtejo são embaixadores do território e parte integrante da oferta turística (Fig.2). Alguns destes produtos são também GEOfood, marca internacional para alimentação sustentável em Geoparques.



Figura 2 – Montra de Geoprodutos do Geopark Naturtejo; detalhe de biscoitos Trilobite (produzidos pela empresa Geocakes)

Numa colaboração entre os Geoparques Mundiais da UNESCO portugueses e o Turismo de Portugal, foi criado o primeiro curso de Geoturismo em Portugal (Geoturismo *by* Geoparks), uma Formação Executiva certificada, destinada a profissionais do sector e que veio responder à grande procura por parte de operadores turísticos.

Referências bibliográficas

FARSANI, N.T., COELHO, C., COSTA, C. & NETO DE CARVALHO, C. 2011. Geoparks and Geotourism: Concepts, Theories and Paradigms. In: Farsani, N.T., Coelho, C., Costa, C. & Neto de Carvalho, C. (eds), Geoparks & Geotourism – new approaches to sustainability for the 21st Century. Brown Walker Press, Florida, USA, 5-60.

FARSANI, N.T., NETO DE CARVALHO, C. & XU, K. 2018. Education as a key tenet of Geotourism. In: Dowling, R. & Newsome, D. (eds.), Handbook of Geotourism. E.Elgar Publishing, UK, 234-243.

GALOPIM DE CARVALHO, A.M. 1989. Exomuseu de Geologia. Encontro Nacional do Ambiente, Turismo e Cultura, Lisboa/Sintra, 1 a 4 de Novembro.

NETO DE CARVALHO, C. 2005. Inventário dos georrecurso, medidas de Geoconservação e estratégias de promoção geoturística na região Naturtejo. In: C. Neto de Carvalho (Ed.), Património Paleontológico: da Descoberta ao Reconhecimento – Cruziana'05, Actas do Encontro Internacional sobre Património Paleontológico, Geoconservação e Geoturismo, Idanha-a-Nova, 46-69.

NETO DE CARVALHO, C. (ed.) 2020. Parque do Barrocal – 310 milhões de anos em construção. Câmara Municipal de Castelo Branco, 362 pp.

- NETO DE CARVALHO, C. & RODRIGUES, J. (eds.) 2009. New challenges with geotourism. Proceedings of the 8th European Geoparks Conference, Idanha-a-Nova, 288 pp.
- NETO DE CARVALHO, C. & RODRIGUES, J. 2010. Managing delicate socio-environmental impacts: Naturtejo European Geopark and the building of Alvito Reservoir at Almourão geosite (Portugal). in N. Zouros (ed.), Proceedings of the 9th European Geoparks Conference, Mytilene, Lesvos, Greece, 1-5 October 2010, 84-85.
- NETO DE CARVALHO, C., BAUCON, A., BAYET-GOLL, A. & BELO, J. 2021. The Penha Garcia Ichnological Park at Naturtejo UNESCO Global Geopark (Portugal): a Geotourism Destination in the Footprint of the Great Ordovician Biodiversification Event. *Geoconservation Research*, 4 (1). <http://dx.doi.org/10.30486/gcr.2021.1913338.1051>.
- NETO DE CARVALHO, C., RODRIGUES, J.C., CANILHO, S. & AMADO, S. 2011. Geopark Naturtejo, bajo los auspicios de la UNESCO: la construcción participativa de un destino geoturístico em Portugal. *Tierra y Tecnología*, 40, 52-56.
- NETO DE CARVALHO, C., RODRIGUES, J. & JACINTO, A. (eds.) 2009. Geotourism & Local Development. Câmara Municipal de Idanha-a-Nova, 312 pp.
- RODRIGUES, J. & NETO DE CARVALHO, C. 2009a. Geoproducts in Geopark Naturtejo. In Neto de Carvalho, C. & Rodrigues, J. (eds.), New challenges with geotourism. Proceedings of the 8th European Geoparks Conference, Idanha-a-Nova, 82-86.
- RODRIGUES, J. & NETO DE CARVALHO, C. 2009b. Geotourist trails in Geopark Naturtejo. In Neto de Carvalho, C. & Rodrigues, J. (eds.), New challenges with geotourism. Proceedings of the 8th European Geoparks Conference, Idanha-a-Nova, 45-50.
- RODRIGUES, J. & NETO DE CARVALHO, C. 2010a. Património geológico no Geopark Naturtejo: base para uma estratégia de geoturismo. *E-Terra*, 18(11), 1-4.
- RODRIGUES, J. & NETO DE CARVALHO, C. 2010b. Educação não formal no Geopark Naturtejo: o papel do geoturismo. *e-Terra*, 15(53), 1-4.
- RODRIGUES, J., NETO DE CARVALHO, C., RAMOS, M., RAMOS, R., VINAGRE, A. & VINAGRE, H. 2021. Geoproducts – Innovative development strategies in UNESCO Geoparks: Concept, implementation methodology, and case studies from Naturtejo Global Geopark, Portugal. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 9(1), 108-128.
- WYLEZOL, P. & NETO DE CARVALHO, C. 2018. Trans-Atlantic Geo-partnership: International Appalachian Trail partner with European Geoparks to promote Geotourism. European Geoparks Conference Abstracts Book, Rokua Geopark, Finland, 3-6 September, 80.



Capítulo 9

Reativação alpina e registo morfológico de falhas no Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO

R. PEREIRA DIAS¹ & J. CABRAL²

¹. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Campus de Alfragide, Estrada da Portela Bairro do Zambujal, Apartado 7586, Alfragide, 2610-999 Amadora, ruben.dias@lneg.pt

². Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016, Lisboa e Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016, Lisboa, Portugal, jcabral@fc.ul.

PALAVRAS-CHAVE: Neotectónica, Morfologia, Escarpas de falha, Falhas inversas

RESUMO: A paisagem da área do Geopark Naturtejo, localizada a S da Cordilheira Central, é caracterizada por uma morfologia onde se distinguem sectores aplanados que constituem testemunhos da Meseta Ibérica. Esta vasta aplanação regional foi deformada e deslocada por diversas falhas inversas durante a orogenia Alpina, principalmente durante o Miocénico, gerando escarpas orientadas aproximadamente NE-SW que produzem uma subida progressiva em patamares, para N, em direcção à Cordilheira Central. Várias destas falhas, como a do Ponsul, evidenciam a continuação dos movimentos tectónicos no Pliocénico superior e Quaternário indicando a sua actividade neotectónica e contribuindo assim para o seu traço conspícuo no relevo regional.

KEYWORDS: *Neotectonics, Morphology, Fault scarp, Reverse fault*

ABSTRACT: *The landscape of the Naturtejo Geopark area, located to the S of the Central Cordillera, is characterized by a morphology where flattened sectors can be distinguished, which are evidence of the Iberian Meseta. This vast regional planation surface was deformed and displaced by several reverse faults during the Alpine orogeny, mainly during the Miocene, generating escarpments oriented approximately NE-SW that produce a progressive rise in steps to N, towards the Central Cordillera. Several of these faults, such as the Ponsul fault, show the continuation of tectonic movements in the Upper Pliocene and Quaternary, indicating their neotectonic activity and thus contributing to their conspicuous signature on the regional landscape.*

1. Introdução - evolução morfológica em Portugal continental

A cadeia orogénica Hercínica (ou Varisca, de idade Devónico a Pérmico, ~380-280 Ma), incluindo o sector correspondente ao Maciço Hespérico Ibérico, resultou da convergência e colisão de diversos blocos continentais no contexto da formação do supercontinente Pangeia. O relevo então gerado foi em grande parte nivelado pela erosão durante o período de estabilidade tectónica correspondente ao Pérmico médio a superior (~270-255 Ma). No Triássico (~250 Ma) inicia-se a fragmentação da Pangeia por estiramento litosférico. Na margem ocidental do Maciço Hespérico, onde se situa Portugal Continental, a

fragmentação continental conduziu à abertura progressiva do Atlântico Norte. A intensa tectónica extensiva, relacionada com distintas fases de *rifting*, gerou espessas bacias sedimentares, nomeadamente a Bacia do Algarve, a S, e a Bacia Lusitaniana, a W (Dias et al., 2013, entre outros).

O registo sedimentar destas bacias mesozóicas evidencia uma longa e complexa evolução morfotectónica e morfoclimática do Maciço Hespérico que as margina, caracterizada por uma actividade tectónica variável ao longo do tempo e por períodos de intensa erosão intercalados com períodos de prolongada meteorização química das rochas do soco varisco (biostasia) em que se geraram espessos mantos de alteritos, removidos nas fases de erosão. Em consequência deste longo processo evolutivo, a Península Ibérica apresentava em meados do Cretácico uma topografia relativamente baixa e suave próxima do nível do mar contemporâneo, acima da qual se elevavam relevos residuais de 100 a 200 m de altura constituídos principalmente por quartzitos ordovícicos, nas áreas de afloramento de rochas metassedimentares, e inselbergs dispersos, nas zonas de rochas graníticas.

No Cretácico Superior (~85 Ma) inicia-se a convergência África-Eurásia/Ibéria numa direcção aproximadamente N-S e posteriormente NW-SE, que caracteriza a tectónica cenozóica até à actualidade. Esta convergência resultou no desenvolvimento do Orógeno Pirenaico-Cantábrico a Norte, durante o Paleogénico (Paleocénico a Oligocénico; ~65-30 Ma), e do Orógeno Bético-Balear a Sul, no Miocénico (~20-10 Ma). A interacção interplacas originou tensões compressivas que actuaram sobre a Maciço Hespérico Ibérico, causando inversão tectónica nas bacias mesozóicas, reactivando grandes falhas tardi-hercínicas que cortam o Maciço Hespérico, gerando também novas falhas, e produzindo dobramento litosférico expresso por altos e baixos topográficos regionais de grande comprimento de onda (Ribeiro et al., 1990; Dias et al., 2013, entre outros).

A ampla superfície de aplanção que se estendia pela maior parte da Península Ibérica no Cretácico médio foi assim gradualmente dobrada e deslocada por falhas durante o Cenozoico, ficando sujeita a retoques erosivos em áreas de elevação relativamente reduzida e lenta, evoluindo para a vasta superfície de erosão da Meseta Ibérica, ou sendo em grande parte destruída pela erosão em áreas de maior levantamento. Nas áreas sujeitas a subsidência tectónica, constituindo bacias intracratónicas, a superfície de erosão cretácica ficou preservada sob a cobertura sedimentar resultante da erosão das áreas de levantamento vizinhas.

2. A tectónica e a morfologia da região do Geopark Naturtejo

A compressão ~N-S que actuou em Portugal Continental desde o início do Paleogénico desencadeou deformações tectónicas gerando amplas zonas elevadas circundando áreas deprimidas, parcialmente limitadas por falhas, onde se depositaram sedimentos correlativos. Contudo, o controlo da tectónica no relevo actual ocorreu principalmente depois, no Miocénico (Ribeiro et al. 1990). A compressão regional, agora orientada NNW-SSE a NW-SE gerou, entre outros, um vasto relevo alongado na direcção ENE-WSW designado Cordilheira Central Portuguesa, compreendendo actualmente as serras da

Lousã, Açor, Estrela e Muradal-Gardunha. Este relevo consiste numa estrutura complexa elevada tectonicamente deslocando o soco varisco da Zona Centro-Ibérica do Maciço Hespérico, delimitada por uma grande falha inversa vergente para norte no lado NW – a falha Seia-Lousã, e por várias falhas inversas vergentes para sul no lado SE, incluindo as falhas de Sobreira Formosa-Grade-Sobral do Campo, Galdins-Rapoula-Chão da Vã, Ponsul e Segura (Cunha, 1987, 1992, 2001; Dias e Cabral, 1989; Cabral, 1995, entre outros) (Fig. 1).

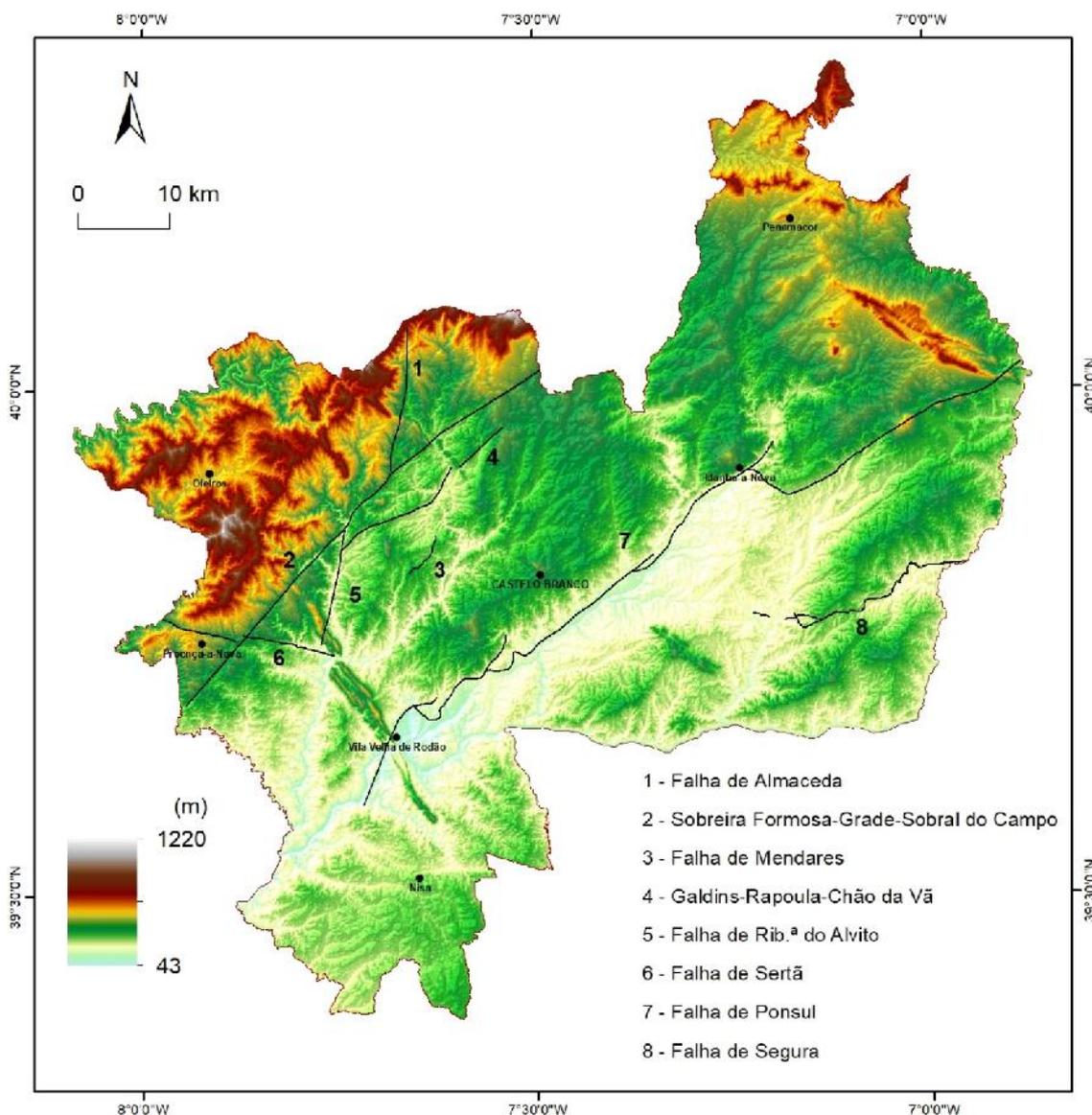


Figura 1 – Modelo Digital de Terreno da região do Geopark Naturtejo com a localização das principais falhas alpinas com atividade Neotectónica (o modelo foi elaborado a partir das imagens ALOS 3D, fornecidas pela Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA). https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d_e.htm

A maioria destes acidentes tectónicos manifesta-se na morfologia por escarpas de falha. O flanco N da Cordilheira Central corresponde à imponente escarpa associada à falha Seia-Lousã, enquanto as falhas meridionais apresentam escarpas viradas a sueste ou a leste, estabelecendo uma descida em patamares desde as serras de Muradal e Gardunha, a norte, até à Meseta

Meridional, representada pela Superfície do Alto Alentejo ou Superfície de Nisa, a sul. A evolução destas falhas no Cenozoico é evidenciada pela sua relação com os sedimentos terciários continentais preservados em bacias tectónicas que elas limitam, como as bacias de Sarzedas, de Castelo Branco e de Cegonhas-Segura, limitadas no seu bordo setentrional pelas falhas de Galdins-Rapoula-Chão da Vã e de Grade, do Ponsul, e de Segura, respectivamente (Cunha, 1987, 1992, 2001; Dias e Cabral, 1989, 1993; Cabral, 1995, entre outros) (Fig. 1).

Várias destas falhas, como a do Ponsul, evidenciam a continuação dos movimentos tectónicos no Pliocénico superior e Quaternário indicando a sua actividade neotectónica. Essas evidências baseiam-se em critérios geomorfológicos, pelas escarpas que apresentam, de aspecto jovem e pouco recuadas relativamente ao traço superficial dos acidentes tectónicos, e em critérios estratigráficos, por afectarem os sedimentos culminantes do enchimento sedimentar cenozoico das bacias correlativas – a Formação da Falagueira, outrora designados de rañas (3,65-1,8 Ma) (Dias e Cabral, 1989; Cunha et al., 2008) (Fig. 2).

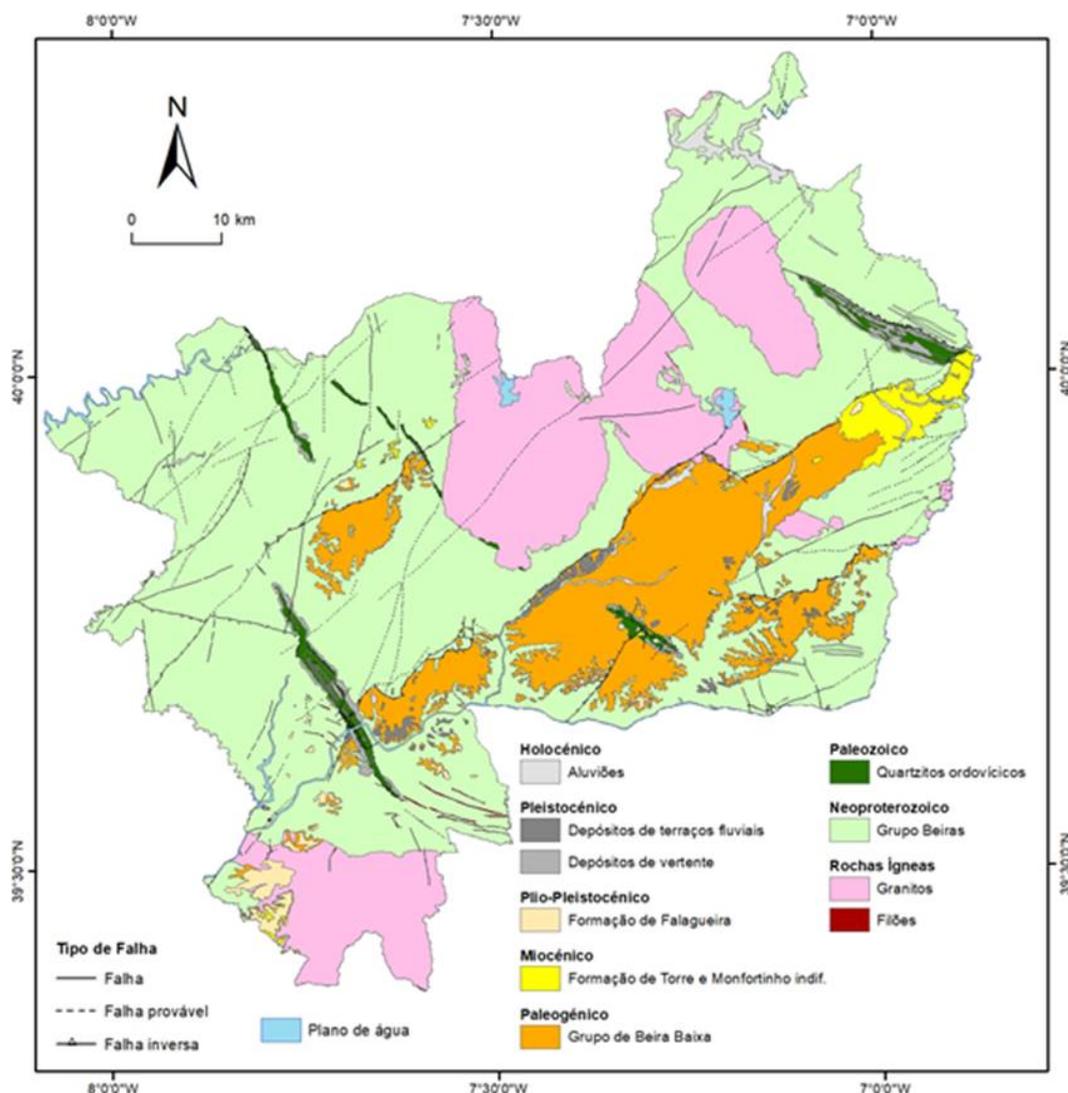


Figura 2 - Mapa Geológico Sintético da região do Geopark Naturtejo (adaptado das folhas 4 e 6 da Carta Geológica de Portugal, na escala 1/200 000) (Meireles (Coord.), 2020 e Ferreira, P. L., Piçarra, J. (Coords.), 2020).

De acordo com o exposto, a paisagem da área do Geopark Naturtejo, localizada a S da Cordilheira Central, é assim caracterizada por uma morfologia marcadamente aplanada composta pela Superfície do Alto Alentejo, a sul, que se encontra deslocada por diversas falhas inversas com escarpas associadas produzindo uma subida progressiva em patamares, para N, em direcção à Cordilheira Central. A N da falha do Ponsul, a vasta superfície de aplanação adquire o nome de Superfície de Castelo Branco. Sobressaindo da aplanação regional destacam-se também os relevos residuais de dureza correspondentes às cristas quartzíticas resultantes dos afloramentos de quartzitos ordovícicos, como as cristas de Vila Velha de Ródão e Penha Garcia, e alguns relevos residuais graníticos circunscritos (inselberg), como o relevo de Monsanto (Fig. 2).

Referências bibliográficas

- CABRAL, J. 1995. Neotectónica em Portugal Continental. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro, 31, Lisboa, 265 p.
- CUNHA, P. P., 1987. Evolução tectono-sedimentar terciária da região de Sarzedas (Portugal). *Comun. Serv. Geol. Portugal*, 73 (1/2), 67-84.
- CUNHA, P. P. 1992. Estratigrafia e sedimentologia dos depósitos do Cretácico Superior e Terciário de Portugal Central, a leste de Coimbra. Tese de Dout. Univ. Coimbra, 262 p.
- CUNHA, P. P. 2001. O Terciário da Beira Baixa: registo estratigráfico e interpretações paleogeográficas. *Geonovas*, 15, 19-31.
- CUNHA, P. P., MARTINS, A. A., HUOT, S., MURRAY, A., RAPOSO, L. 2008. Dating the Tejo River lower terraces in the Ródão area (Portugal) to assess the role of tectonics and uplift. *Geomorphology*, 102, 43–54.
- DIAS, R., ARAÚJO, A., TERRINHA, P. & KULLBERG, J. C. 2013. Geologia de Portugal. Vol. II – Geologia Meso-cenozóica de Portugal. Escolar Editora, 798 p. ISBN: 978-972-592-364-1
- DIAS, R. P., CABRAL, J. 1989. Neogene and Quaternary reactivation of the Ponsul river fault in Portugal. *Comun. Serv. Geol. Portugal* 75, 3-28.
- DIAS, R. P., CABRAL, J., ROMÃO, J. M. C., RIBEIRO, A. 1993. Reactivação Cenozóica da Falha de Segura, Beira Baixa. *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, 79, 63-73.
- FERREIRA, P. L., PIÇARRA, J. (Coords.), 2020. Folha 6 da Carta Geológica de Portugal, à escala 1/200 000. 1ª Edição, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa. ISBN:978-989-675-074-9.
- MEIRELES, C. A. P. (Coord.), 2020. Folha 4 da Carta Geológica de Portugal, à escala 1/200 000. 1ª Edição, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa. ISBN: 978-989-675-080-0.
- RIBEIRO, A., KULLBERG, M. C., KULLBERG, J. C., MANUPPELLA, G., PHIPPS, S. 1990. A review of Alpine tectonics in Portugal: Foreland detachment in basement and cover rocks. *Tectonophysics* 184, 357-366.



Capítulo 10

As faunas do Pleistocénico Superior do sítio da Foz do Enxarrique (Vila Velha de Ródão): questões tafonómicas e paleoambientais

SILVÉRIO D. FIGUEIREDO¹, LUÍS RAPOSO²

1. Instituto Politécnico de Tomar, Quinta do Contador - Estrada da Serra, 2300-313 Tomar, Portugal; Centro Português de Geo-História e Pré-História (CPGP); Centro de Geociências da Universidade de Coimbra. silverio.figueiredo@ipt.pt.

2. Museu Nacional de Arqueologia; Associação dos Arqueólogos Portugueses

PALAVRAS-CHAVE: Rio Tejo, Paleolítico Médio, Mamíferos pleistocénicos, Terraços fluviais

RESUMO:

A Foz do Enxarrique é um sítio arqueológico de ar livre, atribuído ao final do Paleolítico Médio, com vestígios de fauna e indústria mustierense, datado entre 44-32 ka (Th/U e Qz-OSL e IRSL). A acumulação de fauna indica uma influência antrópica, que pode ser interpretada como um caso de processos tafonómicos típicos dos sítios de ar livre e o cuidado a ter com estas dificuldades de interpretação. A Foz do Enxarrique preserva um único horizonte arqueológico bem preservado e fossilizado em condições de baixa energia, como mostra a característica fragmentária dos ossos de acumulação faunística, sem rolamento ou evidências de deposição de origem fluvial, a predominância de restos de animais caçados pelo homem, a residual ocorrência de carnívoros e a presença de marcas de corte em alguns ossos. Este local apresenta um palimpsesto verdadeiramente antrópico, ao contrário de outros sítios, em especial os que ocorrem em grutas, que documentam palimpsestos, resultantes mais da acumulação produzida por predadores, sejam eles mamíferos, aves ou até répteis.

KEYWORDS: *Tagus River; Middle Paleolithic, Pleistocene mammals, River terraces*

ABSTRACT: *Foz do Enxarrique is an open-air archaeological site from the end of the Middle Palaeolithic, with faunal remains and Mousterian industry, dated 44–32 ka (Th/U and Qz-OSL and IRSL). The faunal accumulation shows evidence of human intervention. It can be seen as a paradigm for the interpretation of taphonomic processes typical of open-air sites and consequent difficulties of interpretation. Foz do Enxarrique preserves a single archeological horizon accumulated in low energy conditions, as shown by the fragmentary bones without evidence of river accumulation and abrasion, the predominance of remains of human-hunted animals, the scarce carnivore animal record and the presence of cut marks on some bones. On this site there is a fauna accumulation with an anthropic component, unlike other sites, especially those that occur in caves, that document palimpsest, resulting more from the accumulation produced by predators, whether mammals, birds or even reptiles. Foz do Enxarrique has taphonomic processes, typical of open-air sites.*

1. Introdução

A Foz do Enxarrique (FENX), datada entre os 44 e os 32 ka (Th/U e Qz-OSL e IRSL) (Raposo, 1995; Cunha et al, 2008, 2016, 2019) é um sítio do Paleolítico Médio final de ar-livre, localizado num terraço pleistocénico do Rio Tejo (T6) (Cunha et al, 2008), na margem direita do rio Tejo, na foz da ribeira do Enxarrique, em Vila Velha de Ródão, a cerca de 10 km da fronteira com a Espanha (Fig. 1).

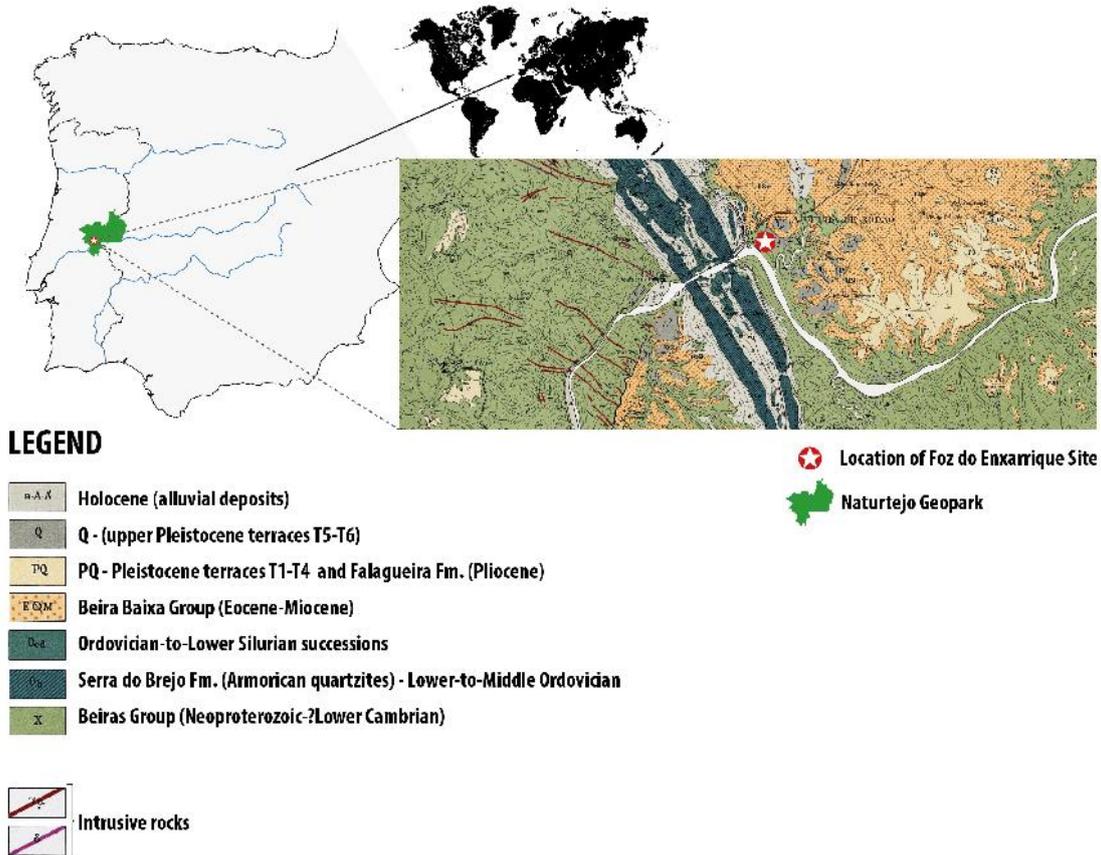


Figura 1 – Localização do sítio da Foz do enxarrique e a contextualização geológica da região (retirado de Figueiredo et al, 2021).

Neste sítio foram realizadas várias campanhas arqueológicas entre os anos de 1982 e de 2001, sob a direção de Luís Raposo, onde foi identificado um único nível arqueológico com uma indústria lítica mustierense, associada a uma rica fauna pleistocénica (Raposo, 1991, 1995; Brugal e Raposo, 1999; Figueiredo e Raposo, 2018; Figueiredo et al, 2021). Tendo em conta a importância científica e patrimonial deste sítio, a Câmara Municipal de Vila Velha de Ródão fez uma intervenção paisagística no local e nas áreas circundantes, criando um projeto de musealização, que abriu ao público em 2015 e que foi idealizado e coordenado por Luís Raposo (Raposo e Benjamim, 2017).

Como referido, na FENX foi identificado um único nível arqueológico com uma indústria lítica mustierense, associada a uma rica fauna pleistocénica (Fig. 2). Foram efetuadas várias datações absolutas em dentes, pelo método de séries de urânio, que dataram o nível mustierense de entre 34 e 32 ka (Raposo, 1995) e nos sedimentos (quartzo), pelos métodos OSL e IRSL (1995, Cunha et al,

2008, 2016), que dataram o terraço onde se encontra o sítio arqueológico nos 39 aos 42 ka. Estas datações correspondem a uma fase mais recente do Paleolítico Médio, traduzindo-se numa das ocupações de neandertais conhecidas mais recentes na Europa. Este sítio localiza-se numa sequência estratigráfica fina de um terraço do Pleistocénico Superior do rio Tejo. A indústria lítica, constituída por materiais de quartzito, sílex e quartzo, caracteriza-se pela ocorrência de núcleos centrípetos, discóides e levallois, e uma alta incidência de subprodutos, constituídos principalmente de lascas, e onde toda a sequência de debitage está presente. O estudo deste material lítico indica um aproveitamento oportunista da matéria-prima, tendo como origem balastros depositados pelo Rio Tejo e quartzitos das cristas próximas do sítio (Raposo, 1995).

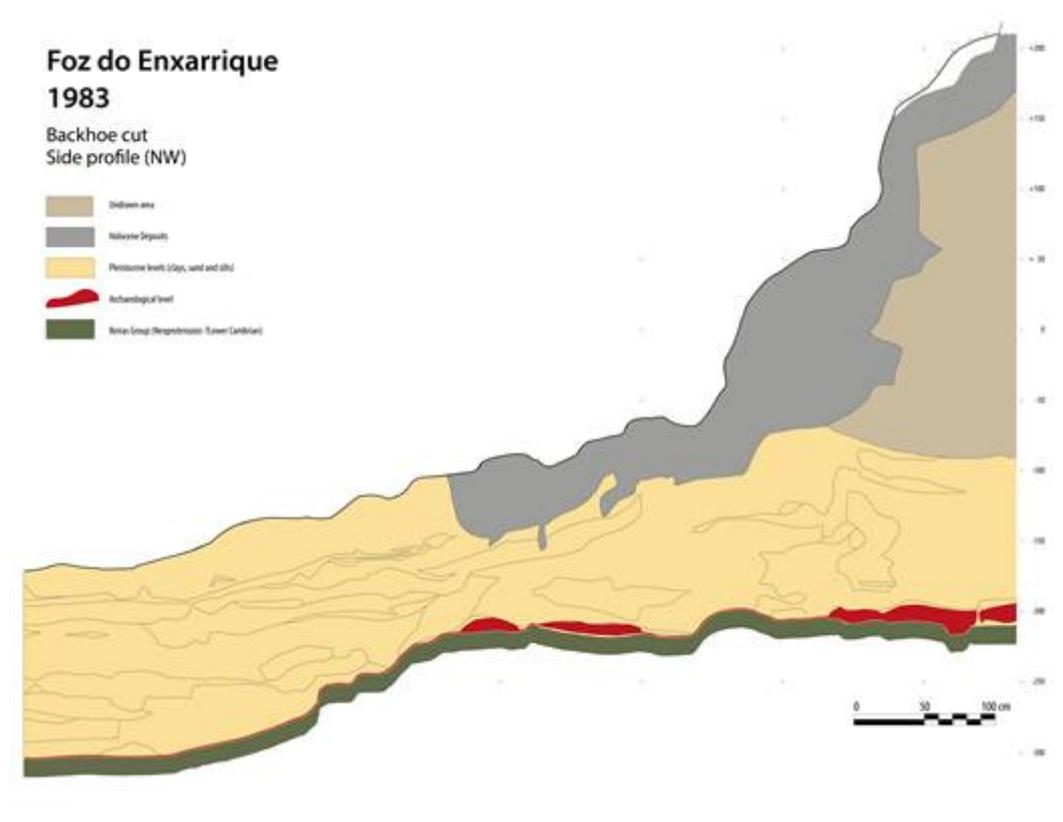


Figura 2 – Estratigrafia do sítio da Foz do Enxarrique (retirado de Figueiredo et al, 2021).

O conjunto faunístico resultante das campanhas efetuadas entre 1982 e 1999, num total de 785 restos ósseos, foi estudado por J. P. Brugal e é constituído por restos osteológicos de cervídeos, equídeos, bovídeos, elefante, rinoceronte, coelho e muito poucos carnívoros (raposa e hiena), (Cardoso, 1993, Brugal e Raposo, 1999, Sousa e Figueiredo, 2001, Figueiredo e Sousa, 2003). A fauna recolhida nas campanhas posteriores (anos de 2000 e de 2001) apresenta as mesmas características: um claro predomínio de cervídeos, equídeos e bovídeos (Figueiredo e Raposo, 2018). Estas características faunísticas (o predomínio destas espécies de herbívoros e a fraca ocorrência de carnívoros) é coincidente com uma acumulação antrópica. Brugal e Raposo fazem referência também à ocorrência de restos de aves, de peixes e de

moluscos (Brugal e Raposo, 1999), no entanto, a revisão destes restos ósseos não permitiu a identificação de restos de aves.

2. Resultados

A maioria dos restos faunísticos são pequenos fragmentos indeterminados, que representam 58% do número total de restos (NTR), sendo que os restantes 42 % do NTR, foram materiais possíveis de serem identificados (Brugal e Raposo, 1999). A percentagem do número de restos indeterminados (NRI), em relação ao número de restos determinados (NRD) da FENX, é elevada, se comparada com outros sítios do Paleolítico Médio, em que os restos faunísticos fragmentados indeterminados, representam apenas 10 a 20% do total de restos (NTR), desses sítios (Brugal e Raposo, 1999). As faunas da FENX são claramente dominadas por megafauna (Fig. 3). Desta, a mais representada é o género *Cervus* (58,7% do NRD), de *Equus* (39% do NRD) e de *Bos* (2,5% do NRD). No total dos restos (NTR) ósseos recolhidos (os identificados e os não identificados), o conjunto destes três táxones representam 40,3 %. Os restantes táxones não ultrapassam os 1,5 %, cada (Brugal e Raposo, 1999) (Fig. 3). Foram identificados 13 restos com marcas da ação de carnívoros e 15 com marcas de ação humana (9 com marcas de corte e 6 com marcas de fogo) (Brugal e Raposo, 1999). A clara predominância dos herbívoros indica o uso da zona como local de caça.

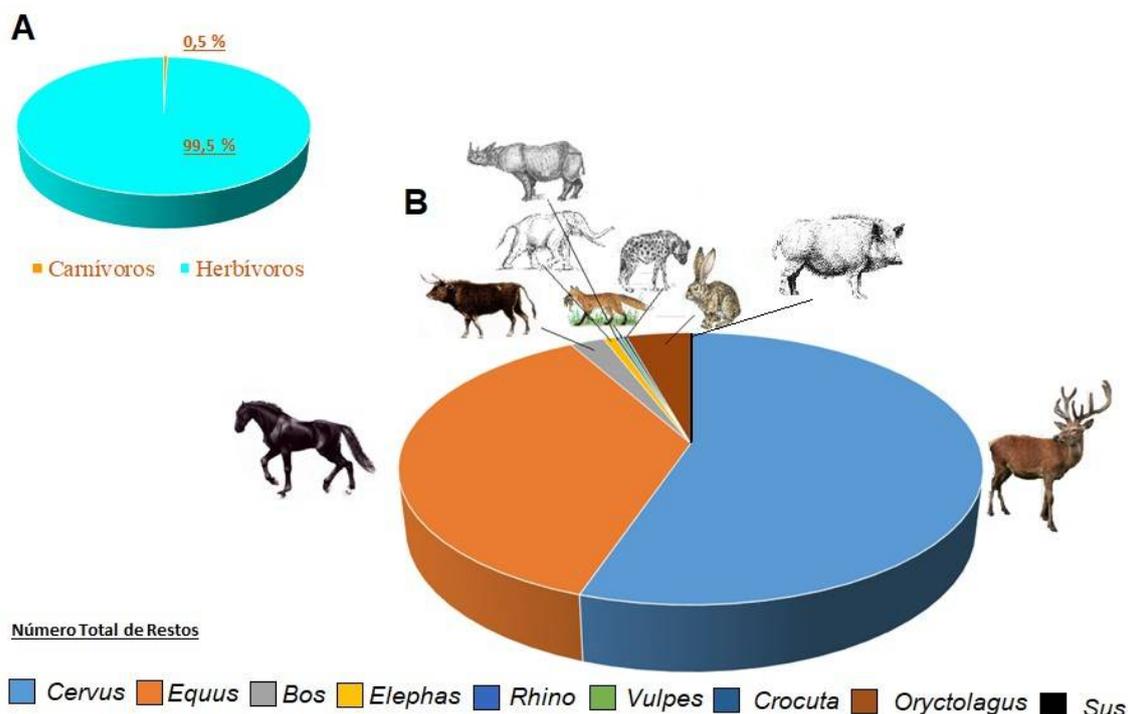


Figura 3 – A – percentagem da ocorrência do número total de restos de herbívoros e de carnívoros; B – Géneros identificados no FENX e a percentagem da ocorrência do número total de restos dos géneros identificados (Adaptado de Figueiredo et al., 2021).

A presença de *Paleoloxodon antiquus* neste sítio tem uma relevância particular, pois representam a sobrevivência deste animal na Península Ibérica até ao início da parte final da última glaciação. É um dos últimos registos de elefante

conhecidos na Europa (Cardoso, 1993, Brugal e Raposo, 1999). Estes restos são constituídos por uma lamela inteira de um molar superior, um fragmento de lamela de dente indeterminado (inérito) e seis fragmentos ósseos, incluindo as presas (Brugal e Raposo, 1999, Sousa e Figueiredo, 2001, Figueiredo e Sousa, 2003).

A fauna presente neste sítio apresenta características paleoecológicas que indicam climas de tipo temperado, embora mais frios do que os atuais. Algumas espécies, como o caso do *Paleoxodon antiquus* estão associadas a climas mais secos, o que sugere a ocorrência de períodos de seca. Estes dados correspondem aos indicadores fornecidos pelos grandes mamíferos que indicam um biótopo frio com uma componente de *secura*, embora não muito acentuada (Cardoso, 1993). Existem táxones associados a relevos, como o coelho e a raposa, o que é consistente com a geomorfologia da região, mas também existem espécies associadas a espaços abertos, como o cavalo e outras associadas a manchas florestais, em locais mais abrigados e húmidos, como o veado, o auroque ou o javali (Cardoso, 1993).

A Foz do Enxarrique é uma estação de ar-livre e a inexistência de aves nesta jazida e a fraca ocorrência de carnívoros, em contraposição com as ocorrências faunísticas em grutas da mesma época, bem como a identificação de marcas de ação humana em alguns restos ósseos, reforça a componente antrópica desta acumulação faunística. Relativamente à ocorrência de restos de aves na Foz do Enxarrique, há também a considerar a fragilidade dos ossos destes animais e de questões sedimentares: enquanto nas grutas, a sedimentação é pouco dinâmica (penetração do exterior de areias transportadas pelo vento, escoamentos calcários ou infiltrações de águas pluviais com sedimentos), permite a preservação de ossos mais frágeis. No caso da sedimentação dos rios, onde se insere a FENX, que é mais dinâmica e intensa, pode fazer com que os ossos mais frágeis não se preservem. No entanto, análises sedimentares realizadas a amostras do nível arqueológico (Cunha et al; 2016, 2019) demonstram que a sedimentação foi resultado de um dinamismo sedimentar baixo, pois as areias finas (91,4 % inferior a 1/2 milímetro) e os siltes e argilas predominam. Por outro lado, a presença de restos de coelho e de pequenos mamíferos com ossos igualmente frágeis indicam que se as comunidades humanas do Paleolítico Médio que aqui viveram, tivessem consumido aves, os seus restos teriam também ficado preservados.

Verifica-se que a orientação dos materiais ósseos e líticos segundo o eixo maior morfológico segue as linhas de água que formaram o terraço. A projeção dos dados recolhido num diagrama de dispersão segundo os pontos cardeais e a sua sobreposição sobre imagem de satélite do sítio arqueológico (Fig. 4) mostra que estes materiais estão orientados, na sua grande maioria, segundo os cursos do rio Tejo e da Ribeira do Enxarrique, o que indica que, apesar de os sedimentos que formam o terraço do Enxarrique indicarem ambiente de baixa dinâmica, os ossos e os artefactos líticos, após a sua deposição, sofreram uma movimentação e reorientação por ação destes cursos de água.



Figura 4 – Diagrama da orientação segundo o eixo maior morfológico dos materiais da FENX, implementados sobre imagem de satélite do sítio arqueológico: A – líticos; B – fauna (fonte: GoogleEarth).

3. Conclusões

A Foz do Enxarrique, com um horizonte arqueológico único bem preservado e fossilizado em condições de baixa energia, apresenta um palimpsesto verdadeiramente antrópico. A FENX é atualmente o único sítio ao ar livre do Paleolítico Médio com fauna preservada em Portugal, o que a torna um dos sítios arqueológicos do Paleolítico mais importantes do país.

Os sítios ibéricos do Paleolítico Médio com datas entre os 40 e os 30 mil anos, os mais recentes da Europa com ocupação neandertal, têm tido uma atenção considerável nos últimos tempos devido à sua relação com a extinção dos neandertais. Por isso, a FENX tem uma importância científica relativamente aos estudos paleolíticos nacionais e internacionais devido às datações obtidas neste sítio arqueológico e à ocorrência de líticos abundantes atribuídos aos neandertais e de uma abundante fauna contemporânea à sua ocupação. A identificação de uma fauna diversificada destaca a presença de *P. antiquus* e rinoceronte. Os vários sítios paleolíticos com datas e fauna semelhantes às da FENX quer em Portugal, quer em Espanha, apoiam a teoria, recentemente debatida e confirmada por diferentes investigações, de que a Ibéria terá sido um refúgio ecológico, numa transição biogeográfica sob uma influência climática amena do Atlântico e do Mediterrâneo, durante as fases glaciares do Pleistocénico Superior para um conjunto de espécies que estava nessa época já extintas no resto da Europa.

Referências bibliográficas

BRUGAL, J-P & RAPOSO, L. 1999. Foz do Enxarrique (Ródão – Portugal): Preliminary Results of the Analysis of a Bone Assemblage from A Middle Paleolithic Open Site in The Role of Early Humans in the Accumulation of European Lower and Middle Paleolithic Bone Assemblages: 367-379.

CARDOSO, J.L. 1993. Contribuição para o conhecimento dos grandes mamíferos do Plistocénico Superior de Portugal. Câmara Municipal de Oeiras.

- CUNHA, P.P., MARTINS, A.A., HUOT, S., MURRAY., A.S. & RAPOSO, L. 2008. Dating the Tejo River lower terraces in the Ródão area (Portugal) to assess the role of tectonics and uplift. *Geomorphology.*, 102: 43–54.
- CUNHA, P.P., MARTINS, A.A. & GOUVEIA, M.P. 2016. As escadarias de terraços do Ródão à Chamusca (Baixo Tejo) - Caracterização e interpretação de dados sedimentares, tectónicos, climáticos e do Paleolítico/The terrace staircases of the Lower Tagus River (Ródão to Chamusca). *Estudos do Quaternário 2016.*, 14: 1–24.
- CUNHA, PP., MARTINS, AA., BUylaERT, J-P., MURRAY, AS., GOUVEIA, MP., FONT, E., PEREIRA, T., FIGUEIREDO, S., FERREIRA, C., BRIDGLAND, DR., YANG, P., STEVAUX, JC. & MOTA, R. 2019. The Lowermost Tejo River Terrace at Foz do Enxarrique, Portugal: A paleoenvironmental Archive from c. 60–35 ka and Its Implications for the Last Neanderthals in Westernmost Iberia. *Quaternary.* 2, 3: 31-60. doi:10.3390
- FIGUEIREDO, S. D. & SOUSA, M. F. 2003. Os Elefantes Pleistocénicos de Portugal, *Separata da Revista Evolução nº1*: 3-32
- FIGUEIREDO, S. & RAPOSO, L. 2018. As Aves Como Recurso Alimentar do Homem do Paleolítico Médio: interpretação tafonómica das acumulações faunísticas da Gruta Nova da Columbeira e da Foz do Enxarrique. *Boletim do Centro Português de Geo-História e Pré-História 1 (1)* 2018: 57 – 63.
- FIGUEIREDO, S. & RAPOSO, L., SOUSA, M. 2021. Upper Pleistocene fauna from the Middle Palaeolithic site of Foz do Enxarrique (Vila Velha de Ródão, Naturtejo Unesco Global Geopark). *Geoconservation Research*, 4(2), -. doi: 10.30486/gcr.2021.1912483.1048
- RAPOSO, L. 1983. As Comunidades de Caçadores Recolectores do Paleolítico, in *História de Portugal*, Dir. José Hermano Saraiva, Vol. 1, Ed. Alfa, Lisboa, pp. 31 – 62
- RAPOSO, L. 1991. Campanha de Escavações Arqueológicas no Sítio da Foz do Enxarrique. Alto Tejo, in *Boletim Informativo do Núcleo Regional de Investigação Arqueológica*, nº 9: 1 – 2.
- RAPOSO, L. 1993. O Paleolítico Médio, in *O Quaternário em Portugal – balanço e Perspectivas*: 147-161. APEQ, Ed. Colibri, Lisboa
- RAPOSO, L. 1995. Ambientes, Territorios y Subsistencia en el Paleolítico Medio de Portugal, *Complutum*, 6: 57 – 77.
- RAPOSO, L. & CARDOSO, J. L. 1998. Las Industrias Líticas de la Gruta Nova de Columbeira (Bombarral, Portugal) en el Contexto del Mustierense Final de la Península Ibérica, *Trabajos de Prehistoria*, 55, nº 1: 39 – 62.
- RAPOSO L, & BENJAMIN, M. 2017. Musealização do Sítio Arqueológico da Foz do Enxarrique: do projeto à obra feita. In *A Arqueologia em Portugal: 2017, o estado da questão*. Coor José Morais Arnaud, Andrea Martins. Associação dos Arqueólogos Portugueses. Lisbon: 101–112.
- SOUSA, M. F E FIGUEIREDO, S. D. 2001. The Pleistocene Elephants of Portugal, *atas do Congresso La Terra degli Elefanti*: 611 – 616.



Capítulo 11

Como os blocos rochosos de Monsanto desafiam as leis da Física

I. FERNANDES^{1,2}, T. BODAS FREITAS³, C. NETO DE CARVALHO⁴, J. CALVÃO²

1. IDL – Instituto Dom Luiz, mifernandes@fc.ul.pt

2. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, jmrodrigues@fc.ul.pt

3. CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, teresabodas@tecnico.ulisboa.pt

4. colaborador IDL; Serviço de Geologia do Município de Idanha-a-Nova; Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, carlos.praedichnia@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Maciço granítico, Descontinuidades, Queda de blocos, Tombamento, Deslizamento

RESUMO: A estabilidade de taludes e encostas envolvendo maciços rochosos ou terrosos depende de forma determinante das condições geológico-geotécnicas ocorrentes. A aldeia de Monsanto, concelho de Idanha-a-Nova, encontra-se implantada num maciço granítico caracterizado por encostas íngremes associadas à evolução de um monte-ilha ou *inselberg* e por uma paisagem de caos de blocos. O interesse turístico da aldeia reside em grande medida na fusão do maciço rochoso com as construções humanas e na estética de vários blocos graníticos dispersos pela aldeia, aparentemente em situação de estabilidade precária. A previsão da iniciação e progressão do movimento de blocos rochosos apresenta uma elevada incerteza devido ao grande número de variáveis que lhes estão associados. Para analisar a estabilidade dos blocos de granito, foi realizado o estudo geológico e geotécnico do maciço rochoso, com base na análise do sistema de diáclases. Posteriormente, cada um dos blocos foi caracterizado de acordo com um conjunto de parâmetros que se consideram condicionantes tanto para o potencial de instabilização como para a progressão do movimento. Apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos.

KEYWORDS: *Granitic rock mass, Discontinuities, Rock falls, Toppling, Planar slides*

ABSTRACT: *The stability of slopes involving rock or soil masses depends crucially on the occurring geological-geotechnical conditions. The village of Monsanto, in the municipality of Idanha-a-Nova, is located in a granite rock mass characterized by steep slopes resulting from the development of an inselberg and a landscape of chaos of boulders. The tourist interest of the village lies largely in the fusion of the rock mass with human constructions and in the aesthetics of several granite boulders scattered around the village, apparently in precarious stability conditions. The prediction of the initiation and progression of the movement of the rock boulders presents a high uncertainty due to the large number of variables. To analyse the stability of the granite boulders, the geological and geotechnical study of the rock mass was carried out, based on the analysis of the joint system. Subsequently, each of the boulders was characterized according to a set of parameters that are considered conditioning for both instability potential and movement progression. A synthesis of the results obtained is presented.*

1. Introdução

Um maciço rochoso é definido como o conjunto dos blocos de rocha (designados por *rocha intacta*) e as descontinuidades que o compartmentam. Descontinuidade é a designação que envolve falhas, estratificação, xistosidade e, mais comumente, diáclases. As diáclases agrupam-se em famílias que apresentam atitude (direção com o norte e inclinação com o plano horizontal) semelhantes e condicionam o comportamento do maciço rochoso tanto no que respeita à resistência ao corte como à permeabilidade.

A aldeia de Monsanto situa-se num maciço granítico em que ocorrem encostas com declives de cerca de 35° , classificadas como moderadamente íngremes. A aldeia está implantada num monte-ilha ou *inselberg* como uma evolução morfoclimática complexa que remonta ao Jurássico Superior, maioritariamente entre cotas de 500 e 748 metros de altitude, destacando-se na paisagem circundante de relevo suave e plano. O declive é mais acentuado nas cotas acima dos 600 m, como acontece, por exemplo junto ao Castelo e nas cotas superiores à área urbana. Face aos elevados valores de declive é necessário fazer uma avaliação do potencial de instabilização de blocos rochosos e do risco associado para as populações e visitantes. Os blocos rochosos poderão entrar em movimento predominantemente por deslizamento ou tombamento, em função da geometria dos blocos e do ângulo de atrito da superfície de deslizamento (Hoek e Bray, 1977). O ângulo de atrito da superfície de deslizamento é fortemente dependente da ocorrência de rugosidades e do estado de alteração da superfície. Distingue-se ainda o tombamento flexural (muito comum em rochas com xistosidade) do tombamento direto, dependendo do sentido de inclinação das descontinuidades relativamente à encosta. A progressão do movimento pode traduzir-se em rolamento ou saltação, ou mesmo em queda livre de blocos, nos locais em que existem escarpas (Dorren, 2003). Na Figura 1 apresentam-se representações esquemáticas das condicionantes principais de cada tipo de movimento e também como pode ocorrer a progressão do movimento de um bloco.

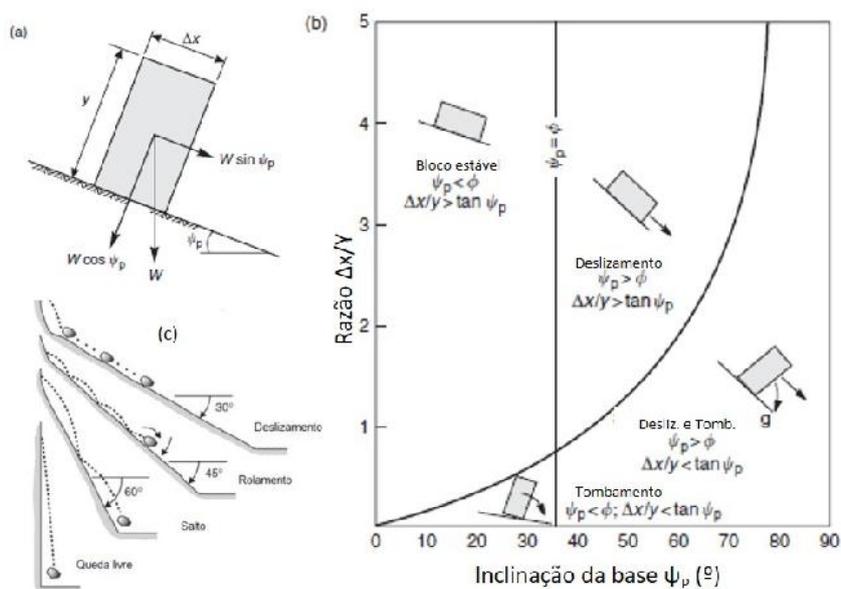


Figura 1 – (a) e (b) Relação entre a geometria de um bloco ($\Delta x/y$, ou seja, base/altura), a inclinação da base de apoio (ψ_p) e o ângulo de atrito da superfície (ϕ) (Hoek e Bray, 1977); (c) progressão do movimento de um bloco (Dorren, 2003).

2. Metodologia

O levantamento de campo incidiu sobre a caracterização das diáclases quanto a: atitude, espaçamento, persistência, rugosidade, abertura e preenchimento. Em cada descontinuidade foi utilizado o martelo de Schmidt para obtenção da dureza e estimativa da resistência à compressão uniaxial. A análise cinemática foi realizada para avaliar a probabilidade de ocorrência de movimentos dos blocos para as diferentes famílias de diáclases, considerando o pior cenário para a direção e inclinação das encostas (maior valor de inclinação) e o ângulo de atrito de 30° , definido a partir da observação no campo.

O trabalho de campo conduziu à identificação de alguns blocos em situação potencialmente instável. Assim, numa segunda fase foi realizado o levantamento de cada um dos blocos, excluindo aqueles que se encontram em situação totalmente estável, por exemplo, os que estão apoiados em superfícies horizontais. Para os restantes, num total de 147, foram registados uma série de parâmetros que são passíveis de influenciar a estabilidade mecânica dos blocos, de acordo com três categorias, nomeadamente, geometria, envolvente e resistência (Figura 2):

a) *Geometria*: dimensão do bloco segundo os três eixos perpendiculares (X, Y e Z) (Figura 2.b); arredondamento das faces e arestas (Figura 2.c); posição do centro de massa (Figura 2.d);

b) *Envolvente*: inclinação (Figura 2.e), alteração, dureza e rugosidade da base; percentagem da área de contacto (Figura 2.b); efeito de carga (o bloco serve de suporte a outros blocos, Figura 2.f);

c) *Resistência*: grau de alteração do bloco (Figura 2.f); dureza de Schmidt do bloco.

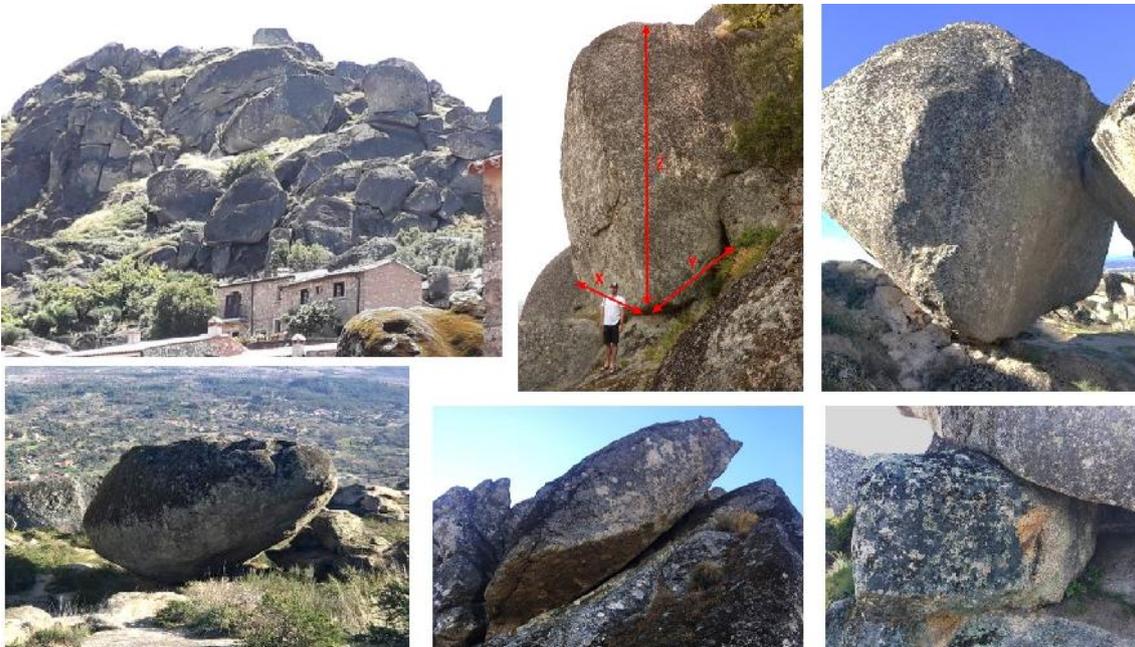


Figura 2 – (a) Imagem de uma área de caos de blocos, mostrando blocos divididos pelas principais famílias de diáclases; (b) Geometria do bloco; (c) arredondamento das faces e arestas e área de contacto; (d) posição do centro de massa; (e) inclinação da base; (f) alteração e efeito de carga.

Em cada bloco e para cada parâmetro, foram consideradas 3 classes de ocorrência (1, 2 e 3): a classe 1 indica que a apresentação do parâmetro respetivo não é favorável à instabilização do bloco; a classe 2 indica que a apresentação desse parâmetro é medianamente favorável à instabilização do bloco; e a classe (3) indica que a apresentação do parâmetro é extremamente favorável à instabilização do bloco (Conceição et al., 2021). Com base numa análise estatística multivariada procedeu-se à classificação do potencial de instabilização de cada bloco, por tombamento ou deslizamento, bem como do potencial de progressão de movimento.

3. Resultados

A observação realizada à escala do afloramento mostra que o maciço é constituído por granito de grão médio a grosseiro com representatividade variável dos megacristais de feldspato. A rocha que constitui os blocos encontra-se medianamente alterada a alterada. De um modo geral o maciço é compartimentado por duas famílias de diáclases subverticais e uma família subhorizontal, esta pendendo no sentido da encosta. As diáclases individualizam grandes blocos prismáticos que apresentam frequentemente altura superior à base de apoio. No Quadro 1 estão resumidos os resultados da análise cinemática realizada (Prazeres et al., 2018).

Quadro 1 - Probabilidade (% máxima prevista) de ocorrência de movimentos de terreno (ED – estação de diaclasamento).

	Local 1 ED 1+2	Local 2 ED 3+4	Local 3 ED 5+6	Local 4 ED 7
Deslizamento planar	36	75 N15°; 38°ESE	9	0
Deslizamento em cunha	25	16	12	3
Tombamento flexural	100 N86°; 72°SSE	3	6	100 N78°; 84°SE
Tombamento direto	100 N68°; 9°NW	100 N15°; 38°ESE	100 N138°; 25°NE	100 N96°; 22°NNE

Os resultados da análise cinemática mostram que em todos os locais existe a probabilidade de ocorrência de tombamento (100% de probabilidade) e, num afloramento junto ao cemitério de Monsanto (Local 2), também a possibilidade de deslizamento ao longo de uma família de diaclases.

A percolação de água ocorre pelas diaclases, causando a alteração da rocha, mais acentuada nos planos das diáclases, o que dá origem ao longo do tempo ao arredondamento das arestas e vértices dos blocos. Esta alteração traduz-se na argilização dos feldspatos e das micas, deixando os cristais de quartzo em relevo nos planos das diáclases. Na base dos blocos observa-se frequentemente a decomposição da rocha em areia, ao longo das diaclases horizontais que formam as plataformas em que estão apoiados os blocos de rocha. O contacto entre os blocos é, em consequência, frequentemente parcial a pontual.

Este levantamento mostra que os blocos apresentam maioritariamente arestas arredondadas e, frequentemente, também faces arredondadas o que lhes confere formas ovóides e, mais raramente, tabulares e prismáticas. Os blocos

mostram frequentemente a sua maior dimensão segundo a vertical, o que é favorável à ocorrência de movimento dos blocos por tombamento. Muitos destes blocos localizam-se em plataformas horizontalizadas resultantes da evolução erosiva do maciço, por vezes ocultas pelo tecido urbano; são abundantes os blocos que se apoiam em fundações fortemente arenizadas e com inclinação desfavorável, ou seja, no sentido da encosta. Observam-se blocos fendidos (arredondados com uma face plana), que resultaram da divisão dos blocos originais em duas metades ao longo de diáclases e que indicam que terá existido movimento e evolução da paisagem num passado mais ou menos longínquo.

3. Conclusões

A caracterização pormenorizada de 147 blocos em situação potencialmente instável, o estudo e a hierarquização dos parâmetros permitiram concluir que existem 20 blocos com perigosidade elevada, no que respeita a instabilização por tombamento, e 74 quando se considera a iniciação do movimento por deslizamento. Para estes blocos, devem definir-se as potenciais trajetórias de movimento, em particular para aqueles que possam vir a afetar edifícios ou infraestruturas importantes localizadas a cotas inferiores. Alguns destes blocos são particularmente interessantes do ponto de vista turísticos, como o Penedo do Meio-Dia, os Penedos Juntos ou o Pé Calvo. Embora as populações refiram movimentos pontuais de blocos isolados, que terão ocorrido no século passado e mesmo nos últimos anos, não existam registos históricos formais que ajudem a caracterizar o potencial de iniciação do movimento de blocos rochosos e a evolução desse mesmo movimento.

Referências bibliográficas

- CONCEIÇÃO, J.S., BODAS FREITAS, T. M.; FERNANDES, I.; NETO DE CARVALHO, C.; CALVÃO, J. 2021. Avaliação da perigosidade de instabilização de blocos rochosos na aldeia de Monsanto. XVII Congresso Nacional de Geotecnia, LNEC, Lisboa.
- DORREN, L.K.A. 2003. A review of a rockfall mechanics and modelling approaches. Progress in Physical Geography 27, 69-87.
- HOEK, E., BRAY, J.W. 1977. Rock Slope Engineering, 2nd Edition. The Institute of Mining and Metallurgy, London, 527.
- PRAZERES, R. D.; FERNANDES, I.; BODAS FREITAS, T. M.; NETO DE CARVALHO, C.; CALVÃO, J. 2018. Caracterização das condições geológico-geotécnicas da Aldeia de Monsanto. XVI Congresso Nacional de Geotecnia, Ponta Delgada, Açores.

Terra de Água *Water Land*



Capítulo 12

Rochas quartzíticas como reservatório de água mineral natural e água de nascente

M. ROSÁRIO CARVALHO¹ & J. MARTINS CARVALHO²

1. IDL e Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa
mdrcarvalho@fc.ul.pt

2. TARH - Terra, Ambiente e Recursos Hídricos, Lda. jmc@tarh.pt

PALAVRAS-CHAVE: Quartzitos, Água mineral natural, Aquíferos hidrominerais

RESUMO: No Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO ocorrem formações quartzíticas incluídas nos sinclinais de Penha Garcia, de Vila Velha de Ródão, de Muradal, assim como nas estruturas de Castelo Branco-Serra da Pedraqueira e Monforte da Beira. As rochas quartzíticas apresentam condições de fracturação importantes no contexto de rochas cristalinas constituindo aquíferos fracturados, nalguns casos com alguma continuidade espacial, de produtividade relativamente importante no contexto regional permitindo a construção de captações para abastecimento humano e para as indústrias do termalismo e das águas engarrafadas. O caso paradigmático do território do geoparque são as Termas de Monfortinho, mas não custa antecipar que outros pólos destas águas poderiam ser desenvolvidos como se demonstra pela ocorrência do Olho d'Água da Foz do Cobrão e da Fonte das Virtudes.

KEYWORDS: *Quartzite, Natural mineral water, Hydromineral aquifers*

ABSTRACT: *In the Naturtejo UNESCO Global Geopark occurs quartzite formations included in the Penha, Vila Velha de Ródão and Muradal synclines, as well as in the tectonic structures of Castelo Branco-Pedraqueira and Monforte da Beira. The quartzite rocks present important fracturing features in the context of crystalline rocks giving rise to fractured aquifers, in some cases with some spatial continuity, of relatively important productivity in the regional context, allowing the presence of springs and wells for human supply and for the thermal spa and bottled water industries. The paradigmatic case in the geopark's territory is Termas de Monfortinho, but it is worth to anticipate that other poles of these waters could be developed as it is demonstrated by the occurrence of the springs of Olho d'Água da Foz do Cobrão and Fonte das Virtudes.*

Os quartzitos são rochas cristalinas, compactas, que podem constituir aquíferos fraturados, por vezes com continuidade espacial apreciável. De modo geral, a porosidade eficaz e permeabilidade primárias destes aquíferos são muito baixas, mas aumentam consideravelmente com o grau de fracturação das rochas. A circulação da água é favorecida pela porosidade secundária (fissuras e fracturas). Neste tipo de rochas a alteração química é fraca, não desenvolvem dupla porosidade (matriz e fratura) e a água subterrânea circula e

fica armazenada apenas nas zonas mais fracturadas das formações, as quais diminuem em profundidade.

As águas subterrâneas dos aquíferos quartzíticos são geralmente águas frias com muito baixa mineralização, como consequência de circulação em aquíferos fracturados e rochas com muito baixa solubilidade. Águas deste tipo, de características organoléticas excelentes, podem ser usadas na indústria de engarrafamento como água de nascente (Lei 54/2015 de 22 de junho e Dec. Lei 84/90 de 16 de março). Todavia, a fracturação dos maciços pode permitir a circulação da água até elevadas profundidades, onde adquire temperatura mais alta em resultado do gradiente geotérmico local. É, assim, relativamente comum a ocorrência de águas subterrâneas termais neste tipo de aquíferos que, nalguns casos, conduz à sua classificação como água mineral natural (em Portugal de acordo com a Lei 54/2015 de 22 de junho e o Dec. Lei 86/90 de 16 de março).

As águas minerais naturais são recursos geológicos do domínio do Estado, de grande valor acrescentado, que são usadas nas indústrias do Termalismo Médico e de engarrafamento de água. O uso sustentado destes recursos pressupõe políticas de desenvolvimento e de exploração que muito beneficiam da inserção em zonas protegidas e classificadas como é o caso do Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO.

No território do Geopark Naturtejo ocorrem rochas quartzíticas de idade ordovícica nos sinclinais de Penha Garcia (Sequeira *et al.*, 1999) e de Vila Velha de Rodão (Metoviev *et al.*, 2009), ocorrendo ainda em outras estruturas tectónicas, como Muradal, Castelo Branco-Pedraqueira e Monforte da Beira (Figura 1).

Nesse contexto destaca-se a ocorrência, no sinclinal de Penha Garcia, das Termas de Monfortinho, um dos grandes pólos termais Portugueses, já referido em Fonseca Henriques (1726). Há, adicionalmente, forte potencial para replicar novos pólos de exploração (águas minerais naturais para termalismo e engarrafamento e águas de nascente, apenas para engarrafamento) em ambas as estruturas sinclinais.

O sinclinal de Penha Garcia, com eixo de direcção NW-SE, estende-se entre Penha Garcia e Monfortinho. Encontra-se fortemente fracturado e dividido pela falha do rio Ponsul. Constitui um reservatório de águas frias, captadas para consumo humano, mas também de água termal, classificada como água mineral natural, que emerge e é captada junto a Monfortinho para balneoterapia. A água termal tem temperatura de cerca de 30 °C, fácies bicarbonatada sódica, pH de 5,45 e muito baixa mineralização, com condutividade eléctrica ao redor de 35 µS/cm. A principal espécie dissolvida na água é a sílica, correspondendo a 53% do total dos sólidos dissolvidos (24 mg/L de SiO₂).

A água termal de Monfortinho tem origem meteórica e estudos de isótopos $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ apontam para área de recarga do aquífero acima de 400 m de elevação (Carvalho e Carvalho, 2015). Área que corresponde à parte superior do bloco oriental do sinclinal, sugerindo que a falha de Ponsul pode funcionar como uma barreira negativa ao fluxo de águas subterrâneas e que o aquífero termal está desenvolvido apenas no bloco oriental da sinclinal. Todavia, em Monfortinho ocorre forte artesianismo positivo e os caudais por captação do

tipo furo são da ordem de 12 L/s (Carvalho, 2001). Volumes de água elevados, tendo em consideração apenas esta área de recarga e que a precipitação média na região é de 790 mm/ano, sendo a recarga estimada cerca de 17% da precipitação (Carvalho, 2001), isto é, 134 mm/ano e 4×10^5 m³/ano de recursos hidrominerais.

Segundo Carvalho (2001) a transmissividade do aquífero na zona de descarga é de 540 m²/dia (furos com 220 m de profundidade), o coeficiente de armazenamento de 3×10^{-3} e a condutividade hidráulica de 6,5 m/dia.

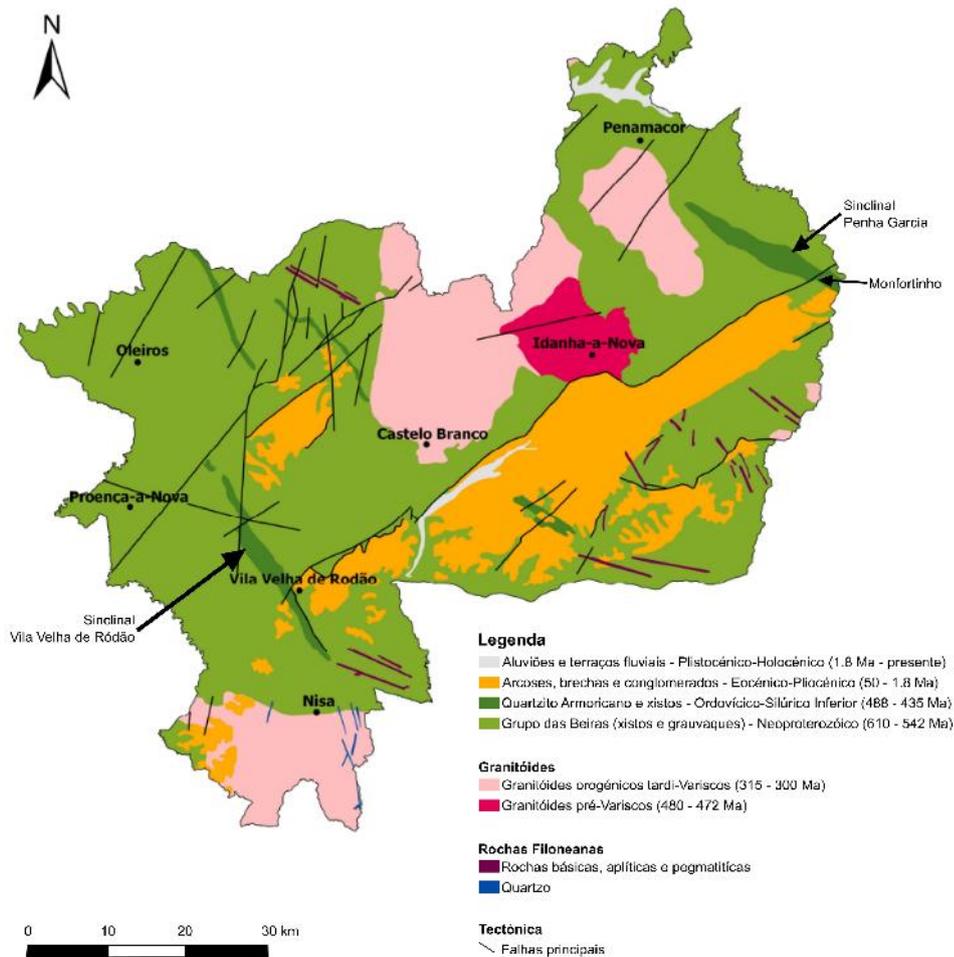


Figura 1 - Mapa geológico do território do Geopark Naturtejo (adaptado de <https://www.naturtejo.com>).

O sinclinal varisco de Vila Velha de Ródão é uma estrutura complexa situada na borda SW da Zona Centro Ibérica, a oeste do município de Vila Velha de Ródão. É uma estrutura muito fracturada, afetada por importantes falhas, que interceptam o fluxo de água subterrânea e individualizam o sistema em diferentes blocos.

Nestes aquíferos quartzíticos são conhecidas diversas emergências de água fria, algumas delas captadas. As emergências com maior caudal encontram-se nas associadas a zonas de elevada fracturação, como sejam a nascente do Olho d'Água da Foz do Cobrão, com cerca de 9,8 L/s (ATKINS, 2009) e as

nascentes para abastecimento a Vila Velha de Rodão, na margem do rio Tejo, junto às Portas de Ródão.

Neste sinclinal é também conhecida uma água com características termais, a Fonte das Virtudes, localizada junto ao rio Tejo, na margem direita, a cerca de 1 km a jusante das Portas de Ródão. Tem sido referida na bibliografia (Fonseca Henriques, 1726; Calado, 1995; http://www.aguas.ics.ul.pt/castelobranco_fvirtudes.html), como uma água hipossalina, sulfúrea sódica com cerca de 24 °C de temperatura, sendo desconhecido o seu caudal. A água do Olho d'Água da Foz do Cobre também apresenta temperatura ligeiramente mais elevada do que as restantes águas drenadas nos flancos do sinclinal.

As rochas quartzíticas possuem transmissividade até 4 m²/dia, mas à profundidade de 179 m este valor reduz-se para 0,04 m/dia (TARH, 2009 *in* ATKINS, 2009). A recarga do sistema aquífero está estimada em cerca de 150 mm/ano, resultando num volume de escoamento subterrâneo em cerca de 4,8 L/s/km². Contudo, não foi ainda divulgado, o modelo hidrogeológico de pormenor da área (TARH, 2009 *in* ATKINS, 2009).

Referências bibliográficas

ATKINS. 2009. Estudo de Impacte Ambiental do Aproveitamento Hidroelétrico (AH) do Alvito; vol. 1 - Relatório Síntese, Tomo I. 488 pp. Relatório inédito para EDP- Gestão da Produção de Energia, S.A.

CARLOS CALADO. 1995. Atlas do Ambiente. Notícia Explicativa Carta de Nascentes Minerais. Ministério do Ambiente e Recursos Naturais. Direção Geral do Ambiente. Lisboa, I.20 Carta de Nascentes Minerais

CARVALHO & CARVALHO. 2015. Chemical and isotopic composition of the Monfortinho thermal water (Portugal): contribution to the aquifer conceptual model and resource evaluation. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU2015-PREVIEW, 2015, EGU General Assembly 2015.

CARVALHO, J.M. 2001. A Hidrogeologia das águas minerais naturais de Monfortinho. Geonovas, Rev. Assoc. Portg. Geólogos, Lisboa, 2001, Vol. 15: 61-70.

FONSECA HENRIQUES. 1726. Aquilégio Medicinal. Lisboa. 288 p.

METODIEV, D., ROMÃO, J., DIAS, R. RIBEIRO, A. 2009. Vila Velha de Ródão syncline (Central-Iberian Zone, Portugal): Lithostratigraphy, structure and evolutionary model of the Variscan tectonic. Comunicações Geológicas, 96(1): 05-18.

SEQUEIRA, A.F., CUNHA, P.P., RIBEIRO, M.L. 1999. Notícia Explicativa da Folha 25-B Salvaterra do Extremo. Departamento de Geologia, Instituto Geológico e Mineiro, 47 pp.

TARH. 2009. Estudo Hidrogeológico da Zona do Circuito Hidráulico, Aproveitamento Hidroelétrico do Alvito. Anteprojecto. Relatório inédito para EDP- Gestão da Produção de Energia, S.A



Capítulo 13

Caracterização da vulnerabilidade associada a águas subterrâneas – o estudo de caso Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, Portugal

TERESA ALBUQUERQUE^{1,2*}, NATÁLIA ROQUE¹, JOANA RODRIGUES^{3,4}, ISABEL MARGARIDA ANTUNES⁴, CATARINA SILVA⁵

1. CERNAS | Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco, Portugal; teresal@ipcb.pt e nroque@ipcb.pt
2. ICT/Universidade de Évora, Évora, Portugal; teresal@ipcb.pt
3. Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, Castelo Branco, Portugal; joana.rodrigues@naturtejo.com
4. ICT/Universidade do Minho, Braga, Portugal; imantunes@dct.uminho.pt
5. Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal; csilva@fc.ul.pt

PALAVRAS-CHAVE: Geopark Naturtejo, Água subterrânea, Índices de vulnerabilidade, DRASTIC, DRASTICAL; SIG

RESUMO: A avaliação da vulnerabilidade dos sistemas aquíferos tornou-se uma ferramenta útil para prevenir a poluição das águas subterrâneas. Os mapas de vulnerabilidade fornecem dados valiosos para proteger os recursos hídricos subterrâneos. A identificação de atividades agrícolas é uma questão importante para uma gestão otimizada da água. O Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO, localizado no centro interior de Portugal, incluído na bacia hidrográfica do rio Tejo, é fundamentalmente uma zona rural, onde as práticas agrícolas intensivas têm mostrado uma tendência crescente nas últimas décadas. O método internacional mais utilizado para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas é o índice DRASTIC. No presente estudo, é apresentado um novo índice, DRATICAL. Na construção do DRASTICAL um novo atributo - Influência antrópica – foi adicionado aos definidos tradicionalmente. Cinco níveis de vulnerabilidade crescente foram identificados. Uma avaliação rigorosa da qualidade das águas subterrâneas desempenha um papel fundamental, principalmente tendo em conta cenários de mudança climática e escassez de água num futuro muito próximo. Como resultado, uma gestão sustentável deste importante recurso natural é fundamental para o desenvolvimento de estratégias e políticas futuras para a sua exploração e uso.

KEYWORDS: *Naturtejo Geopark, Groundwater, Vulnerability, DRASTIC, DRASTICAL; GIS*

Abstract: *Assessing the vulnerability of groundwater has become a useful tool to prevent groundwater pollution. Groundwater vulnerability maps provide valuable data to safeguard groundwater resources. The identification of agricultural models is a major issue for optimal land management. The Tagus watershed is the backbone of this study. Naturtejo UNESCO Global Geopark, in central Portugal, is a rural area. Intensive farming practices have shown an increasing tendency in recent decades. The most widely used international method for assessing vulnerability is the DRASTIC*

index. In the present study, the DRASTICAI index is introduced. A new attribute - Anthropic Influence - is included here. Five levels of increasing vulnerability, from bottom to top, can be recognized here. A rigorous assessment of groundwater quality plays a key role. Climate change scenarios and water scarcity are major issues for the next few years. As a result, optimal groundwater management is critical to policy development strategies.

1. Introdução

A avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas tornou-se uma ferramenta útil para a prevenção da poluição. Os mapas de vulnerabilidade fornecem dados úteis para a proteção dos recursos hídricos subterrâneos e servem como ferramenta para a gestão deste recurso, pois permitem considerar mudanças nas práticas agrícolas e, assim, otimizar o uso da terra (Albuquerque et al. 2021, Abdullah et al. 2018, Awawdeh et al. 2015). Trata-se de um processo reconhecidamente complexo, uma vez que as condições naturais e as práticas de uso da terra variam substancialmente em todo o mundo. Dois tipos diferentes de vulnerabilidade são amplamente reconhecidos na literatura: 1. vulnerabilidade intrínseca e 2. vulnerabilidade extrínseca ou específica (Stigter et al. 2006). A primeira é função de fatores hidrogeológicos e a segunda é definida pela adição de atributos que definem a potencial influência antrópica. O método internacional mais utilizado para avaliar a vulnerabilidade intrínseca é o índice DRASTIC (Aller 1985), pois é de fácil cálculo e requer uma quantidade mínima de dados.

A área em estudo (parte significativa do território do Geopark Naturtejo, excepto Penamacor) situa-se na bacia hidrográfica do rio Tejo, um dos maiores sistemas hidrológicos da Europa Ocidental, que atravessa quase toda a Península Ibérica (Figura 1a). Esta bacia hidrográfica inclui os rios Zêzere, Erges, Ocreza, Ponsul e ribeiras como Aravil ou Sertã (Figura 1b). O leito rochoso mais antigo é principalmente constituído por metassedimentos impermeáveis (xistos e metagrauvaques) do Grupo das Beiras (Sequeira 1993 e Romão 1994) formando amplas áreas aplanadas.

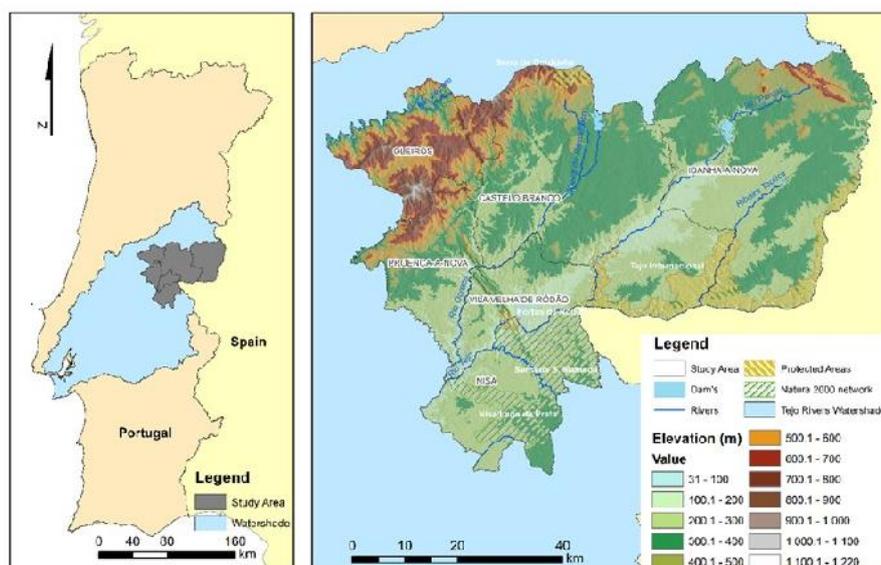


Figura 1 - a) Estudo de caso – a área de seis municípios do Geopark Naturtejo, e bacia hidrográfica do rio Tejo; b) áreas protegidas; rede Natura 2000 e modelo digital do terreno (fonte: Albuquerque *et al.* 2021).

A bacia é truncada pelas cristas quartzíticas compostas pela formação de Quartzito Armoricano do Ordovícico Inferior (Romano *et al.* 1986). Sedimentos continentais de idade cenozoica com permeabilidade variável são encontrados (arcoses, conglomerados e brechas) nas bacias de Sarzedas e de Moraleja-Ródão (Cunha 1996).

2. Material e Métodos

O modelo DRASTIC é baseado no conceito de ambiente hidrogeológico, que é definido como uma descrição composta de todos os principais fatores geológicos e hidrológicos que influenciam e controlam a circulação das águas subterrâneas. A sigla representa sete parâmetros hidrogeológicos considerados no processo de avaliação: Profundidade (D), Recarga (R), material do aquífero (A), tipo de Solo (S), Topografia (T), Impacto da Zona Vadosa (I), Condutividade Hidráulica (C). A cada parâmetro é atribuído um peso relativo que varia de 1 a 5. Os parâmetros mais impactantes recebem um peso de 5, enquanto os de menor impacto recebem um peso de 1 (Aller 1985). O cálculo do DRASTIC faz-se da seguinte forma:

$$\text{DRASTIC}=(Dr \times Dw)+(Rr \times Rw)+(Ar \times Aw)+(Sr \times Sw)+(Tr \times Tw)+(Ir \times Iw)+(Cr \times Cw) \quad (1)$$

onde a classificação (r) reflete a importância das classes e o peso (w) reflete a importância para o parâmetro. Neste estudo foi introduzido um parâmetro adicional, representando a influência antrópica (IA). A este novo parâmetro foi atribuído um peso 5 e o novo índice denominado DRASTICAI e calculado da seguinte forma:

$$\text{DRASTICAI}=(Dr \times Dw)+(Rr \times Rw)+(Ar \times Aw)+(Sr \times Sw)+(Tr \times Tw)+(Ir \times Iw)+(Cr \times Cw)+(IAr \times IAw) \quad (2)$$

3. Resultados

Os resultados obtidos para o DRASTIC foram classificados em diferentes classes correspondendo, a vulnerabilidade baixa (87,9%), vulnerabilidade intermédia (10,4%) e vulnerabilidade elevada (1,7%) (Figura 2a)). O índice DRASTICAI apresenta a seguinte distribuição: vulnerabilidade baixa (65,8%), vulnerabilidade intermédia (28,4%) e vulnerabilidade alta (5,8%) (Figura 2 b)).

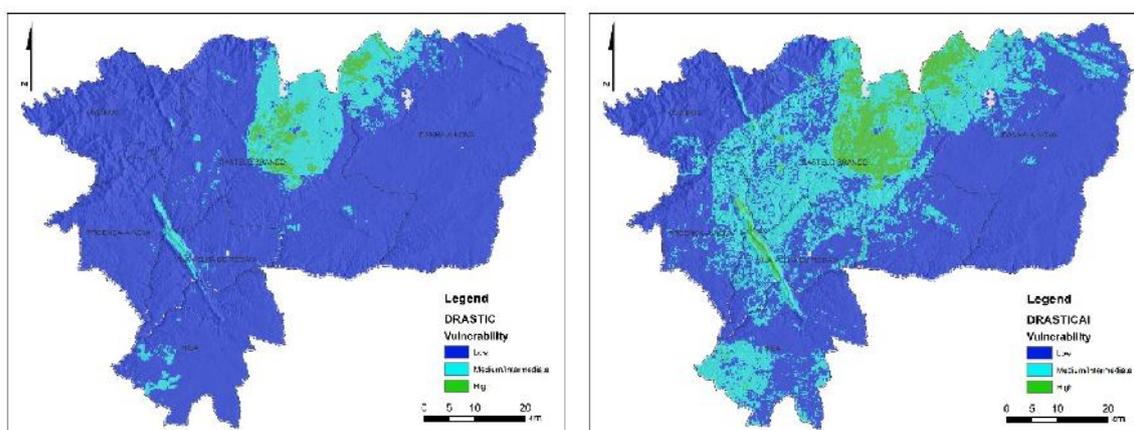


Figura 2. Mapas finais: DRASTIC (a) e DRASTICAI (b), (fonte: Albuquerque *et al.* 2021).

4. Conclusões

A água subterrânea é um recurso essencial e estratégico para o desenvolvimento social e humano, especialmente em regiões com escassez hídrica e secas cíclicas, em cenários de mudança climática.

Há uma necessidade urgente de desenvolver estratégias de gestão eficientes para o uso sustentável e proteção dos recursos hídricos subterrâneos. Para tanto, é imprescindível dispor de ferramentas apropriadas para a monitorização e avaliação efetiva dos recursos hídricos subterrâneos à escala da bacia hidrográfica.

Este estudo teve como objetivo avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição na área de seis municípios do Geopark Naturtejo utilizando um índice DRASTIC modificado - DRASTICAL. Este novo índice foi construído adicionando um novo atributo chamado Influência Antrópica. Os padrões espaciais do DRASTICAL mostram uma clara influência das atividades antrópicas, principalmente nas imediações da vila de Idanha-a-Nova, na zona ocidental do concelho de Nisa e numa mancha significativa nas imediações de Castelo Branco, Proença-a-Nova e Vila Velha do Rodão.

Referências bibliográficas

Abdullah, T.O., Ali, S.S., Al-Ansari, N.A. & Knutsson, S. 2018. Possibility of groundwater pollution in Halabja said Sadiq hydrogeological Basin, Iraq using modified DRASTIC model based on AHP and tritium isotopes. *Geosci.*, 8, [doi:10.3390/geosciences8070236](https://doi.org/10.3390/geosciences8070236)

Albuquerque, M.T.D., Roque, N., Rodrigues, J., Antunes, I.M.H.R. & Silva, M.C.R. 2021. DRASTICAL, a new index for groundwater vulnerability assessment – a Portuguese case study. *Geosciences, Special Issue “Aquatic Systems Quality and Pollution Control”*, 11, 228. <https://doi.org/10.3390/geosciences11060228>

Aller, L. 1985. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research.

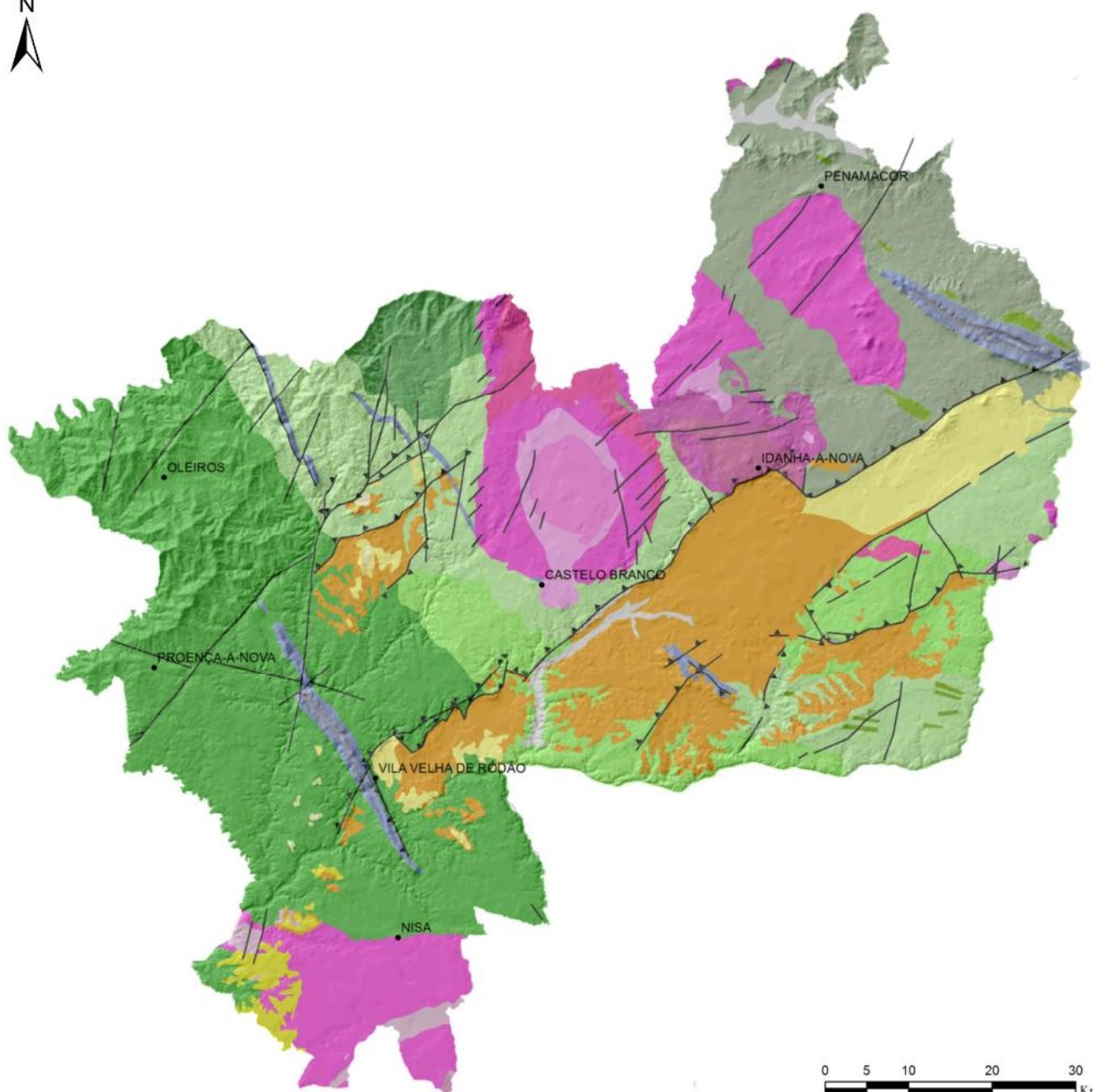
Awawdeh, M., Obeidat, M. & Zaiter, G. 2015. Groundwater vulnerability assessment in the vicinity of Ramtha wastewater treatment plant, North Jordan. *Appl. Water Sci.*, 5, 321–334, [doi:10.1007/s13201-014-0194-6](https://doi.org/10.1007/s13201-014-0194-6)

Cunha, P.P. 1996. Unidades litostratigráficas do Terciário da Beira Baixa (Portugal). *Comun. do Inst. Geológico e Min.*, 82, 87–130

Romano, M., Brenchley, P.J. & McDougall, N.D. 1986. New information concerning the age of the beds immediately overlying the Armorican Quartzite in Central Portugal. *Geobios* 1986, 19, 421–433, [doi:10.1016/S0016-6995\(86\)80002-X](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(86)80002-X)

Sequeira, A. 1993. Provável discordância intra Grupo das Beiras na região entre Monfortinho e Idanha-a-Velha. *Proceedings of the XII Reunião do Oeste Peninsular; Comun. Ed.; XII Reunião do Oeste Peninsular*, pp. 41–52

Stigter, T.Y., Ribeiro, L. & Dill, A.M.M.C. 2006. Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal. *Hydrogeol. J.*, 14, 79–99, [doi:10.1007/s10040-004-0396-3](https://doi.org/10.1007/s10040-004-0396-3)



LEGENDA

- | | | |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">Aluvião - Pleistocénico - Holocénico (1 Ma - Presente) | Granodioritos Pré-Variscos (480-472 Ma) <ul style="list-style-type: none">Granito e granodiorito não porfiróideGranodiorito biotítico e quartzodioritoGranito monzonítico com megacristais | Grupo das Beiras do Neoproterozóico (~600-539 Ma) <ul style="list-style-type: none">Conglomerado do Grupo das BeirasFm. AlamedaFm. RomaninhalFm. PeraisFm. MalpicaIndiferenciado |
| Arcoses, Brechas e Conglomerados (50-2,6 Ma) <ul style="list-style-type: none">Conglomerado de AlmeirimGrupo da MurrachaFm. Silveirinha dos FigosFm. Cabeço do Infante | Quartzito Armoricano e Metapelitos do Ordovício ao Silúrio Inferior (485-433 Ma) <ul style="list-style-type: none">Grupo Rio CeiraGrupo SanguinheiraGrupo CávemesQuartzito Armoricano | |
| Granitos Orogénicos Tardi-Variscos (315-310 Ma) <ul style="list-style-type: none">Granito biotíticoGranito biotítico porfiróideGranito moscovítico-biotíticoGranito gnaissicoOrtognaisse | | |
- (Ma - Milhões de Anos)
- Tectónica**
— Falhas
—▲— Cavalgamentos

ISSN 978-989-97888-3-1



Elaborado a partir de dados do Atlas Digital do Ambiente (2011) e Carta Geológica de Portugal 1:500 000 (1992)