

30º CURSO DE ACTUALIZAÇÃO DE PROFESSORES DE GEOCIÊNCIAS (2ª edição)

UNIVERSIDADE DO MINHO
BRAGA - 23 , 30 de OUTUBRO e 6 de NOVEMBRO de 2010



Organização



Universidade do Minho

Escola de Ciências
Departamento de Ciências da Terra

Apoio



1. Palestras	5
1.1. Impacte ambiental associado à exploração de recursos	6
<i>(Teresa M. Valente)</i>	
1.2. Caracterização e evolução do relevo do Norte de Portugal	52
<i>(Diamantino Pereira)</i>	
1.3. A geoconservação e a educação para a sustentabilidade	64
<i>(José Brilha)</i>	
2. Workshops	100
2.1. Caracterização de rochas em contexto de aula	101
<i>(Pedro Simões)</i>	
2.2. Cartas geológicas: utilização no âmbito do ensino básico e secundário	122
<i>(Jorge Pamplona)</i>	
2.3. Laboratório de dinâmica fluvial	129
<i>(Luís Gonçalves)</i>	
3. Excursões de campo	134
3.1. Geologia do litoral de Viana do Castelo	135
<i>(Ricardo Carvalhido, Diamantino Pereira)</i>	
3.2. Vestígios glaciários no Parque Nacional da Peneda-Gerês	167
<i>(Paulo Pereira)</i>	
3.3. . Viagem ao Complexo Metamórfico da Foz do Douro: um património geológico a preservar	177
<i>(Mónica Sousa)</i>	

Título: 30º Curso de Actualização de Professores de Geociências (2ª edição)

Coordenação do Curso: José Brilha, Jorge Pamplona, Diamantino Pereira

Autores: Teresa Valente, Diamantino Pereira, José Brilha, Pedro Simões, Jorge Pamplona, Luís Gonçalves, Ricardo Carvalhido, Paulo Pereira, Mónica Sousa

Edição: Departamento de Ciências da Terra / Universidade do Minho; APG-Associação Portuguesa de Geólogos

UNIVERSIDADE DO MINHO, BRAGA, 2010

***30º CURSO DE ACTUALIZAÇÃO
DE PROFESSORES DE GEOCIÊNCIAS
(2ª edição)***

FORMADORES

(nomes indicados pela sequência das acções)

Teresa Valente – DCT/UMinho

Diamantino Pereira – DCT/UMinho

José Brilha – DCT/UMinho

Pedro Simões – DCT/UMinho

Jorge Pamplona – DCT/UMinho

Luís Gonçalves - DCT/UMinho

Ricardo Carvalho - CGUP/UMinho

Paulo Pereira - CGUP/UMinho

Mónica Sousa - CGUP/UPorto

1. Palestras

1.1. Impacte ambiental associado à exploração de recursos

Teresa M. Valente

Organização do Tema

1. ENQUADRAMENTO LEGAL

INTRODUÇÃO

ESTRUTURA DO REGIME GERAL DE REVELAÇÃO E APROVEITAMENTO DE RECURSOS
GEOLÓGICOS

Exploração em regime de mina

Exploração em regime de Pedreira

Síntese do enquadramento legal

PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTE AMBIENTAL

Conceitos relevantes no âmbito do processo de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA)

Regime jurídico de AIA e Aspectos Processuais

Obrigatoriedade de AIA

Peças que constituem o processo de AIA

Métodos de Avaliação dos impactes

**2. CENÁRIOS DE IMPACTE AMBIENTAL DESENCADEADOS PELA EXPLORAÇÃO DE
RECURSOS MINERAIS**

INTRODUÇÃO

A exploração de recursos geológicos em Portugal faz-se ao abrigo de uma Lei de Bases, publicada em 1990, a qual estabelece o regime geral de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos. Neste diploma legal, Decreto-Lei nº. 90/90 de 16 de Março, são genericamente designados recursos geológicos todas as substâncias extraídas da crosta. Portanto, a legislação que disciplina o regime de exploração de recursos minerais é a mesma que disciplina o aproveitamento de recursos hídricos e dos recursos geotérmicos.

Com este regime jurídico substituiu-se a anterior legislação, conhecida por Lei das minas, e que esteve em vigor desde 1930 (D.L. 18713 de 1 Agosto 1930). Com efeito, na década de 80 esta Lei estava naturalmente desactualizada, face aos modernos conceitos tecnológicos e geotécnicos e também face às exigências de carácter ambiental, de sustentabilidade e de conservação de recursos, que naturalmente não estavam explícitos na Lei de 1930.

Conforme refere a Lei de Bases, este quadro jurídico veio assim “substituir legislação desactualizada e dispersa, com o objectivo, não só de otimizar o aproveitamento dos recursos, face às condições actuais, mas também, porque a actividade extractiva se configura como potencialmente conflitual com outras utilizações do património comum, e torna-se indispensável a manutenção do equilíbrio ecológico”.

Muitas das alterações introduzidas pela legislação actualmente em vigor foram precisamente no sentido da protecção ambiental, quer ao nível da prevenção de impactes, quer ao nível da reabilitação das áreas afectadas pela actividade extractiva.

ESTRUTURA DO REGIME GERAL DE REVELAÇÃO E APROVEITAMENTO DE RECURSOS GEOLÓGICOS

O regime geral de revelação e aproveitamento de recursos geológicos está estruturado da seguinte forma (Fig. 1):

- Lei de bases – D.L. nº. 90/0, que estabelece os princípios gerais;
- 5 diplomas específicos dirigidos aos diferentes tipos de recursos:
 - recursos hidrominerais
 - recursos geotérmicos
 - águas de nascente
 - **depósitos minerais** – D.L. nº. 88/90

- **massas minerais** – inicialmente foi publicado o D.L. nº. 89/90 de 16 de Março, que foi entretanto revogado e substituído pelo D.L. 270/2001 de 06 de Outubro. Este último, foi mais recentemente modificado pelo D.L. 340/2007 de 12 de Outubro. Na origem da primeira substituição estiveram essencialmente motivos de natureza ambiental. Apesar de já considerados aspectos de protecção ambiental, constatou-se a necessidade de introduzir alterações que promovessem um melhor desempenho ambiental das explorações. A segunda modificação foi motivada pela dificuldade de implementação da legislação anterior, nomeadamente devida à sua desadequação face à realidade do sector das pedreiras em Portugal, onde predominam explorações de pequena dimensão.

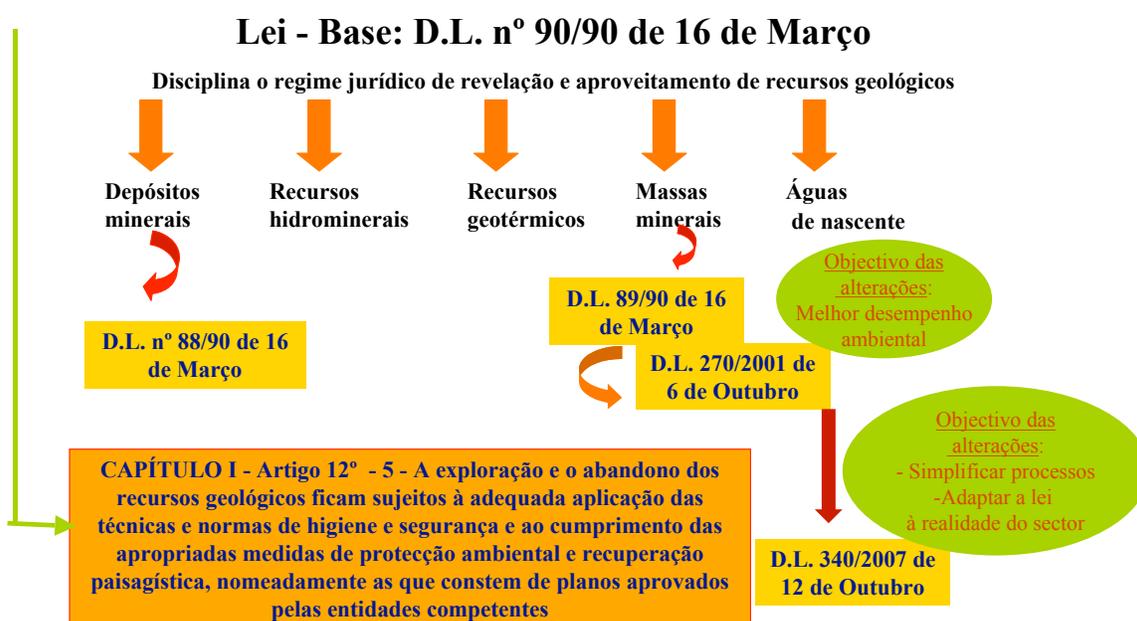


Figura 1 – Representação esquemática da estrutura do regime de revelação e aproveitamento de recursos geológicos em Portugal.

De acordo com este regime geral, considera-se a seguinte classificação dos recursos geológicos:

- recursos geológicos do domínio público do Estado e
- recursos geológicos do domínio privado.

Na primeira categoria incluem-se os **depósitos minerais**, os recursos hidrominerais e os recursos geotérmicos. Na segunda categoria, incluem-se as **massas minerais** e as águas de

nascente. Veja-se especificamente o caso dos recursos de carácter mineral, cuja exploração é tipicamente geradora de conflitos ambientais:

- 1) O diploma que regulamenta os depósitos minerais destina-se a todas as ocorrências minerais existentes em território nacional e nos fundos marinhos da zona económica exclusiva que, pela sua raridade, alto valor específico ou importância na aplicação em processos industriais das substâncias nelas contidas, se apresentam com especial interesse para a economia nacional. Inclui portanto minérios (substâncias portadoras de elementos úteis metálicos) e também minerais industriais.
- 2) Por sua vez, o diploma dirigido às massas minerais, i.e, o D.L. 270/90 modificado pelo D.L. 340/2007, destina-se às rochas e às ocorrências minerais não qualificadas legalmente como depósito mineral.

Esta classificação tem reflexo na existência de dois regimes diferentes de exploração, aos quais correspondem diferentes direitos, obrigações e estatutos de protecção:

- exploração em regime de mina – destinado aos bens do domínio público;
- exploração em regime de pedreira – destinado aos bens privados (regime de propriedade).

Exploração em regime de mina

A exploração em, os direitos para a prospecção e pesquisa bem como para a exploração do recurso adquirem-se através de contratos administrativos com o Estado, nos quais ficam estabelecidos os direitos e as obrigações de ambas as partes.

É entendida como mina, o conjunto do depósito mineral, anexos, construções e todos os bens imóveis afectos à exploração.

São considerados bens do Estado, a explorar em regime de mina, os seguintes recursos:

- todas as substâncias utilizáveis na obtenção de metais – ou seja todos os minérios;
- substâncias radioactivas;
- e ainda os seguintes, respeitantes a rochas e minerais industriais:
 - Carvões, grafites, pirites, fosfatos, amianto, talco, caulino, diatomite, barite, quartzo, feldspato, pedras preciosas e semi-preciosas; e outras de acordo com solicitação apresentada.

Exploração em regime de pedreira

A exploração em regime de pedreira refere-se aos bens do domínio privado, e decorre no âmbito do D.L. 270/2001 modificado pelo D.L. 340/2007, conhecido como “Lei das Pedreiras”. Pedreira é a designação atribuída aos conjunto do depósito, todos os anexos, stocks de material e de estéreis.

Incluem-se neste regime rochas, como o granito, o mármore e o calcário, destinadas à produção de rocha industrial ou ornamental. As argilas comuns (*e.g.* barro vermelho) estão abrangidas por este regime de exploração. No entanto, o caulino, pelo seu elevado valor, está definido como bem do domínio público e por isso é explorado em regime de mina, isto é no âmbito de uma concessão mineira.

A exploração em regime de pedreira está actualmente sujeita a diversos constrangimentos de ordem ambiental. A revogação do diploma de 1990 pelo D.L.270/2001, após uma década de vigência, teve exactamente por objectivo reforçar as questões ambientais associadas à exploração de pedreiras. O papel do Ministério do Ambiente foi reforçado, na medida em que embora a licença pudesse ser atribuída pela CM ficava sujeita ao parecer do Ministério do Ambiente, e eventualmente a um procedimento de avaliação de impacte ambiental. O plano de lavra foi substituído por um plano mais abrangente, designado plano de pedreira, o qual inclui o plano de lavra e o plano de recuperação paisagística, de modo a que a recuperação se possa fazer ao mesmo tempo que decorre a actividade e não apenas após o seu abandono.

Durante os 6 anos de vigência deste diploma verificou-se uma grande dificuldade na sua aplicação, tendo mesmo empurrado um grande número de explorações para ilegalidade. Muitos dos intervenientes neste sector consideraram-no excessivo e impraticável sob o ponto de vista da conformidade legal. Em Maio de 2005, três anos após a entrada em vigor desta Lei, só se encontravam 151 pedreiras legais, contra 1920 contabilizadas em Abril de 2002 (Caxaria, 2006).

A modificação mais recente à exploração em regime de pedreira corresponde à publicação do D.L. 340/2007 de 12 de Outubro, procurando simplificar os processos administrativos e adaptar a lei à realidade do sector, principalmente tendo em conta as pequenas explorações que não tinham capacidade para a cumprir na totalidade.

Assim, o actual Decreto-Lei contempla diferentes classes de pedreiras, consoante o impacte ambiental que desencadeiam, e para as quais são exigidos procedimentos distintos. Por ordem decrescente do impacte ambiental tem-se:

- Classe 1 – pedreiras com área ≥ 25 ha;

- Classe 2 – pedreiras subterrâneas ou mistas, ou a céu aberto com área < 25 ha, mas que neste caso não excedam os limites da classe 3;
- Classe 3 – área máx. de 5 ha; profundidade máxima de 10 m; produção máxima de 150000 ton/ano; máx. 15 trabalhadores e consumo máximo de explosivos de 2000 kg/ano;
- Classe 4 – pedreiras de calçada ou laje se enquadradas nos limites da classe 3.

Síntese do enquadramento legal

Em síntese, a classificação dos recursos minerais em Portugal considera duas categorias:

- bens do domínio público, que incluem os recursos de maior valor específico, como sejam todos os metais e os minerais industriais de maior valor unitário; estes recursos são explorados em regime de mina, o que configura a existência de uma concessão por parte do Estado, no âmbito do D.L. 89/90 de 16 de Março.

- bens do domínio privado, que incluem as rochas ornamentais e os minerais industriais de menor valor específico, os quais são explorados em regime de pedreira ao abrigo do estabelecido no D.L. 270/2001, modificado pelo D.L. 340/2007 de 12 de Outubro.

PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTE AMBIENTAL

Para além do cumprimento da legislação específica descrita atrás, que estabelece os princípios e os regulamentos para a exploração dos empreendimentos extractivos, a exploração de recursos minerais está ainda obrigada ao cumprimento de legislação temática em vigor, nomeadamente a Lei da Água, Lei do Ruído, etc. Neste contexto, tem também que ser considerado o regime jurídico de avaliação de impacte ambiental (AIA). Dependendo da localização e das características das explorações, nomeadamente quanto à área ocupada e à capacidade de produção, as explorações poderão estar sujeitas a AIA.

Conceitos relevantes no âmbito do processo de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA)

Na sua formulação mais simples e abrangente, a AIA é um instrumento da política de ambiente e ordenamento do território que pretende assegurar que as consequências de um

determinado projecto no Ambiente são analisadas e avaliadas, de modo a que possam ser tomadas em consideração no processo de aprovação, ou seja no respectivo processo de licenciamento.

A AIA é sustentada pela realização de estudos e consultas, envolvendo a participação do público, com o objectivo de recolher informação sobre o projecto e o meio em que ele se insere, analisar eventuais alternativas, identificar e prever impactes e identificar e propor medidas que minimizem ou de alguma forma compensem os efeitos que se prevêem negativos.

A AIA é pois um procedimento com um carácter essencialmente preventivo, que idealmente se faz na fase de estudo prévio ou de ante-projecto.

A sua aplicação compreende a realização de um Estudo de Impacte Ambiental (EIA), da responsabilidade do proponente (que no caso da actividade extractiva é a empresa concessionária ou a empresa que requer o licenciamento), compreende a condução de todo o processo administrativo, da responsabilidade do Estado, e inclui obrigatoriamente um processo de participação pública.

No contexto de AIA, definem-se os seguintes conceitos:

- Avaliação de impacte ambiental (IAIA, 1999)

- Processo de identificação, previsão, avaliação e mitigação dos efeitos biofísicos, sociais e outros efeitos relevantes do projecto antes de decisões serem tomadas ou assumidas.

- Impacte em AIA

- Alteração, positiva ou negativa, resultante do efeito de uma acção humana sobre determinada componente física, ecológica, cultural, social ou económica, num determinado período de tempo ou lugar geográfico, comparada com a situação que ocorrerá se essa acção não ocorrer:
 - depende do contexto (espacial, temporal) e da intensidade,
 - depende dos critérios de avaliação.

- Medidas Mitigadoras/Medidas minimizadoras

- Destinadas a reduzir, evitar ou compensar os impactes negativos significativos.

- Impactes cumulativos

- Impactes que resultam dos impactes incrementais da acção quando somados aos de outras acções passadas, presentes ou previsíveis.

- Impactes Residuais

- Impactes não mitigáveis (por exemplo a remoção do recurso geológico, enquanto recurso não renovável – impacte irreversível e não mitigável).

- Alternativas - Opções de concretização do projecto:

- Alternativa zero – evolução previsível na ausência do projecto
- Tipo de alternativas – localização (não pode ser considerada no caso da indústria extractiva), dimensão, técnicas de exploração, concepção, técnicas e procedimentos de operação, tratamento e beneficiação, técnicas de desactivação,...

- Monitorização

- processo de observação e recolha sistemática de dados sobre o estado do Ambiente e descrição periódica dos efeitos do projecto, para avaliar a eficácia das medidas previstas pelo AIA.

Regime Jurídico de AIA e Aspectos Processuais

A AIA faz-se actualmente no âmbito do D.L. nº. 197/2005 que substituiu o D.L. nº. 69/2000. As revisões incidiram em grande parte ao nível da consulta pública, no sentido de reforçar a participação do público eventualmente interessado no projecto, no processo de tomada de decisão.

Na globalidade, o procedimento de AIA compreende várias fases (Fig. 2), desde a selecção dos projectos sujeitos a AIA, passando pela sua apreciação que dará lugar à tomada de decisão e à emissão da declaração de impacte ambiental (DIA).

Em caso de aprovação, o processo não termina e há lugar à pós-avaliação, com a intervenção da Autoridade (Estado), do público e do proponente. Especificamente, a autoridade e

o público têm o direito e o dever de verificar o cumprimento do que foi estipulado na DIA, nomeadamente planos de monitorização, medidas de minimização de efeitos negativos, etc.

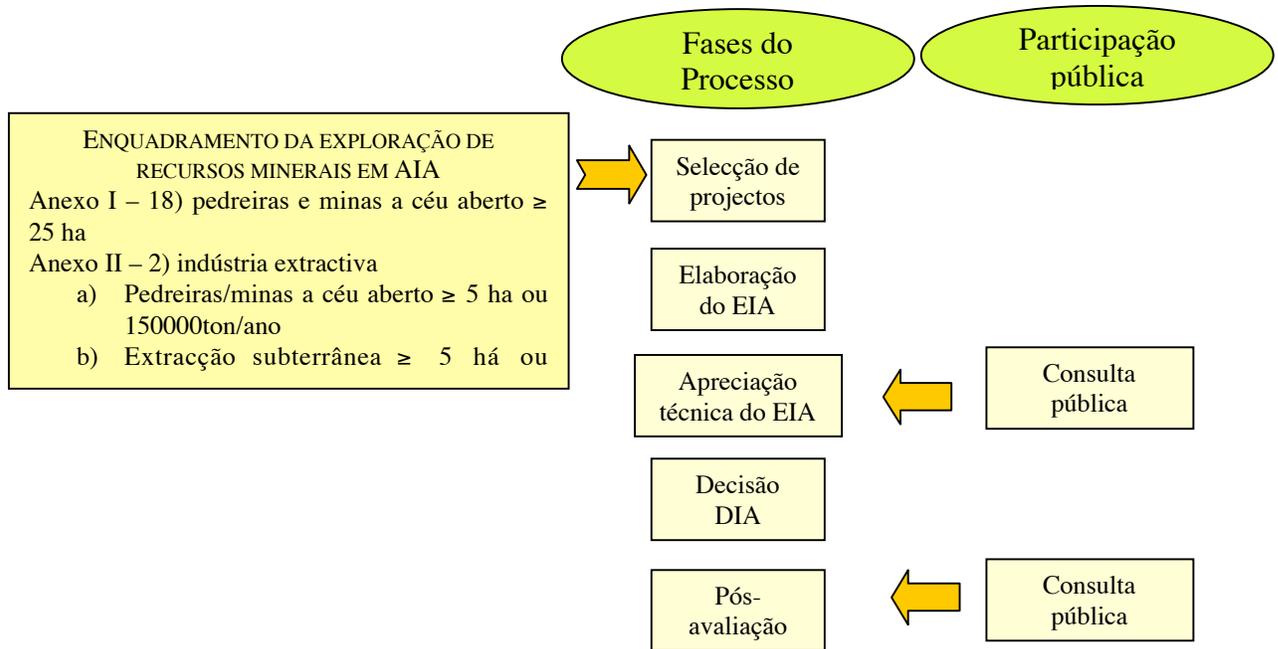


Figura 2 – Fases que constituem o procedimento de avaliação de impacto ambiental.

Obrigatoriedade de AIA

Ao nível da selecção dos projectos sujeitos a AIA, a exploração de recursos minerais aparece envolvida constando da lista de actividades dos anexo I e II do D.L. 197/2005. Especificamente, o anexo I refere as explorações a céu aberto com grande dimensão e o anexo II refere-se às minas e pedreiras de menor dimensão, consoante são a céu aberto – alínea a) ou subterrâneas – alínea b). No caso da localização se referir a zonas sensíveis (e.g. paisagem protegida, reserva ecológica), todos os projectos de actividade extractiva ficam sujeitos a AIA, independentemente da sua dimensão e de outras características.

Peças que constituem o processo de AIA

São entradas do processo as seguintes peças:

- relatório que constitui o estudo de impacto ambiental (EIA) acompanhado de um resumo não técnico;

- o projecto em avaliação (no caso da industria extractiva consiste no plano de lavra/ plano de pedreira).

O resultado do processo é a Declaração de Impacte Ambiental (DIA), emitida pelo Ministério de Ambiente, com a respectiva decisão, que pode ser de três tipos:

- desfavorável, inviabilizando o projecto,
- favorável,
- favorável condicionada à aplicação de medidas de minimização dos impactes a à execução de planos de monitorização, que devem estar previstos no EIA ou outras medidas estabelecidas no processo de avaliação.

O EIA é o documento de maior visibilidade de todo o procedimento, onde devem estar caracterizados e justificados, com imparcialidade, os impactes positivos ou negativos do projecto. A Tabela I discrimina o conteúdo mínimo de um EIA.

No ponto dedicado à Caracterização do Ambiente Afectado pelo Projecto devem considerar-se os seguintes factores ambientais, também designados de descritores:

- Clima
- Geologia, geomorfologia e recursos minerais
- Solos e capacidade de uso do solo
- Recursos hidricos
- Qualidade da água
- Sistemas biológicos e biodiversidade
- Património arquitectónico e arqueológico
- Sócio-economia (população, aspectos económicos, infra-estruturas, acessibilidades e mobilidade)
- Paisagem
- Ordenamento do Território
- Ruído e vibrações
- Qualidade do ar
- Ruído

CONTEÚDO DO ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL

- INTRODUÇÃO
- OBJECTIVOS E DESCRIÇÃO DO PROJECTO
 - Localização física e geográfica
 - Características gerais do projecto
 - Utilização de matérias-primas, recursos, potencial poluente em termos de emissões gasosas, efluentes líquidos e resíduos
- DESCRIÇÃO DAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS
- CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE AFECTADO PELA EXPLORAÇÃO
- AVALIAÇÃO DE POTENCIAIS IMPACTES
- AVALIAÇÃO DE POTENCIAIS IMPACTES CUMULATIVOS
- DESCRIÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO
- MONITORIZAÇÃO
- LACUNAS TÉCNICAS E DE CONHECIMENTO
- CONCLUSÃO

RESUMO NÃO TÉCNICO – documento em linguagem não técnica

Tabela I – Conteúdo mínimo de um EIA.

A estrutura do EIA deve conter informação acerca do projecto em avaliação, nomeadamente quanto ao seu enquadramento territorial no âmbito do planeamento, natureza da actividade, tecnologias envolvidas, entradas e saídas, isto é consumos de matérias-primas, água e energia, produtos, tipos e quantidades, etc.

Deverão constar também soluções alternativas, quer quanto à localização, quer quanto às tecnologias utilizadas. No caso particular da exploração de recursos minerais não é possível equacionar alternativas em termos de localização, uma vez que esta é determinada pelos condicionalismos geológicos.

Tem que constar uma descrição do local de implantação, quanto a factores de natureza biofísica, isto é enquadramento climático e geológico, fauna, flora, meio hídrico. O mesmo se verifica quanto à necessidade de descrever os factores sócio-económicos, de modo a permitir avaliar efeitos sobre a população, o património natural e arquitectónico, etc.

O EIA tem que fornecer informação que caracterize o carácter poluente da actividade e do projecto, nomeadamente emissão de poluentes que induzam modificações na qualidade do ar, ruído industrial, produção de resíduos e águas residuais. Em função desta caracterização tem que estar presente uma avaliação dos potenciais impactes, quanto à sua natureza, i.e., positivos ou negativos, e quanto à sua significância, isto é negligenciáveis, pouco ou muito significativos. Para os impactes negativos têm que ser propostas medidas de minimização e planos de monitorização.

O EIA, da responsabilidade do proponente, é acompanhado de um Resumo não Técnico (RNT), escrito em linguagem acessível, que resume o EIA, e que ficará disponível para consulta do público em geral.

Após a recepção do EIA, a Autoridade de AIA, constituirá uma comissão de avaliação que o vai apreciar, em primeiro lugar quanto à sua conformidade técnica e legal, e depois quanto à sua viabilidade ambiental, propondo a decisão que deve constar na DIA. As normas técnicas e os critérios a utilizar para a elaboração do EIA e do RNT estão definidas na Portaria nº 330/2001 de 2 de Abril.

Métodos de Avaliação dos impactes

A avaliação pode fazer-se com recurso a diferentes métodos. É comum a utilização de matrizes, tais como a preconizada na norma americana *MIL-STD-882D – Standard Practice for System Safety – Department of Defense – United States of America*. Aqui estão considerados os parâmetros referidos atrás, nomeadamente a gravidade, para a qual se contemplam várias categorias possíveis e a probabilidade; estes dois em conjunto permitem uma estimativa do risco ambiental, que por sua vez combinado com a consideração das medidas de controlo ambiental conduzem a uma determinação da significância do impacte. Apresenta-se nas tabelas seguintes o procedimento faseado estabelecido por esta matriz de avaliação.

1º PASSO - GRAVIDADE		
Categoria	Descrição	Definição
1	Negligenciável	Danos ambientais sem importância ou desprezáveis
2	Marginal	Danos ambientais pouco graves, fácil reposição do equilíbrio ambiental
3	Crítico	Danos ambientais graves mas reversíveis ou efeitos limitados às instalações embora com um custo elevado de reposição do equilíbrio ambiental
4	Catastrófico	Danos ambientais muito graves e irreversíveis ou com efeitos para além das instalações

2º PASSO - PROBABILIDADE		
Categoria	Descrição	Definição
1	Improvável	Embora seja possível, não é provável que aconteça e não existe histórico
2	Remoto	Não é normal, mas é razoável a expectativa de ocorrência
3	Ocasional	Ocorre esporadicamente
4	Provável	Ocorre várias vezes e existe histórico
5	Frequente	Ocorre de forma sistemática e com um largo histórico

Com base na gravidade e na probabilidade pode determinar-se o risco ambiental:

		3º PASSO - RISCO AMBIENTAL			
		1	2	3	4
		Negligenciável	Marginal	Crítico	Catastrófico
1	Improvável	1	1	2	3
2	Remoto	1	1	2	3
3	Ocasional	1	2	3	4
4	Provável	2	3	3	4
5	Frequente	3	3	3	4

		4º PASSO – MEDIDAS DE CONTROLO	
Categoria		Definição	
1		Existem, são suficientes e eficientes	
2		Existem, mas ainda não são suficientes ou têm algumas deficiências	
3		Existem, mas são poucas ou têm graves deficiências	
4		Não existem	

Por fim, atendendo ao risco e à possibilidade de minimização, através de medidas de controlo, calcula-se a significância dos impactes de cada acção sobre cada descritor:

		SIGNIFICÂNCIA DOS IMPACTES				
		RISCO AMBIENTAL				
		1	2	3	4	
		Baixo	Moderado	Médio	Elevado	
MEDIDAS DE CONTROLO	1	Existem, são suficientes e eficientes	1	1	3	5
	2	Existem, mas ainda não são suficientes ou têm algumas deficiências	1	2	4	5
	3	Existem, mas são poucas ou têm graves deficiências	2	3	5	5
	4	Não existem	3	4	5	5

1. Impacte ambiental desprezável
2. Impacte ambiental pouco significativo
3. Impacte ambiental moderadamente significativo
4. Impacte ambiental significativo
5. Impacte ambiental muito significativo

BIBLIOGRAFIA

- Decreto-Lei nº 89/90 – Regulamento das pedreiras. Diário da República. 16 de Março de 1990.
- Decreto-Lei nº 90/90 – Regulamento do aproveitamento dos recursos geológicos. Diário da República. 16 de Março de 1990
- Decreto-Lei nº 270/2001 – Regulamento das pedreiras. Diário da República. 06 de Outubro de 2001
- Decreto-Lei nº 340/2007 – Regulamento das pedreiras. Diário da República. 12 de Outubro de 2007
- Regime jurídico da avaliação de impacte ambiental – Decreto-Lei nº 69/2000 modificado pelo D.L. nº. 197/2005 de 8 de Novembro
- http://www2.apambiente.pt/IPAMB_DPP/historico/lstAIA.asp
- Partidário, M. R. (coord) (2007) - Guia de Apreciação Técnica de Estudos de Impacte Ambiental para o Sector das Minas e Pedreiras a Céu Aberto. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e do desenvolvimento Regional, *CCDRLVT – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo*
- Caxaria, C. (2006) – massas minerais – actividade económica e legislação. *Ingenium*
- Norma *MIL-STD-882D – Standard Practice for System Safety – Department of Defense – United States of America*

CENÁRIOS DE IMPACTE AMBIENTAL DESENCADEADOS PELA EXPLORAÇÃO DE RECURSOS
MINERAIS

Exemplos de casos:

- Caracterização ecológica, geoquímica e mineralógica
- Indicadores de contaminação mineira

Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



ELSEVIER

available at www.sciencedirect.comwww.elsevier.com/locate/scitotenv

Occurrence, properties and pollution potential of environmental minerals in acid mine drainage

T. Maria Valente*, C. Leal Gomes

Centro de Investigação Geológica, Ordenamento e Valorização de Recursos (CIG-R) – Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

ARTICLE DATA

Article history:

Received 24 April 2008

Received in revised form

20 September 2008

Accepted 26 September 2008

Available online 11 November 2008

Keywords:

Acid mine drainage

Environmental minerals

Sulphate efflorescences

Ochre precipitates

Valdarcas – Portugal

ABSTRACT

This paper describes the occurrences, the mineralogical assemblages and the environmental relevance of the AMD-precipitates from the abandoned mine of Valdarcas, Northern Portugal. At this mining site, these precipitates are particularly related with the chemical speciation of iron, which is in according to the abundance of mine wastes enriched in pyrrhotite and pyrite. The more relevant supergene mineralogical assemblages include the following environmental minerals: soluble metal-salts, mainly sulphates, revealing seasonal behaviour, iron-hydroxysulphates and iron-oxyhydroxides, both forming ochre precipitates of poorly and well-crystalline minerals.

Pollution potential of the most highly water soluble salts was analysed in order to evaluate the environmental effect of their dissolution by rainfall. Laboratory experiments, carried out with iron and aluminium sulphates, demonstrated the facility to release metals, sulphate and acidity upon dissolution. Regarding the ochre precipitates, composed by several less soluble iron (III)-minerals, the spatial distribution on the nearby aqueous system as well as the proportion of Jarosite, Schwertmannite and Goethite in the mixtures gave information about the halo's contamination promoted by the AMD emerging from the waste-dumps.

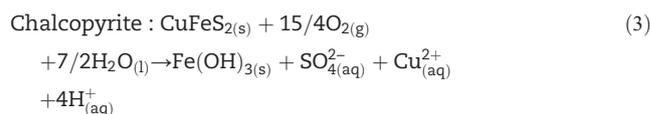
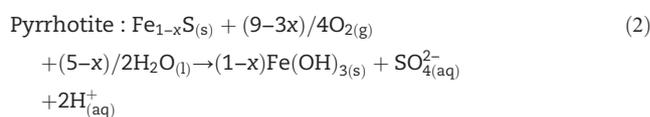
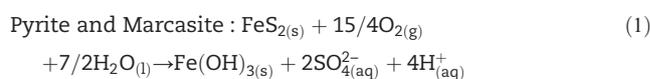
© 2008 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Acid mine drainage (AMD) that emerges from sulphide-rich waste-dumps, exposed to weathering processes, is an important focus of environmental impact world widely. There are numerous examples of globally affected mining regions as AMD promotes chemical, physical, biological and ecological interactive effects on the ecosystems (Gray, 1998; Elbaz-Poulichet et al., 2001; Sainz et al., 2004; Valente and Leal Gomes, 2007).

Associated complex chain of biotic and abiotic reactions that involve the oxidative dissolution of sulphides, generating AMD, has been the subject of extensive literature (McKibben and Barnes, 1986; Bhatti et al., 1993; Ritchie, 1994; Evangelou and Zhang, 1995; Nordstrom and Southam, 1997; Keith and

Vaughan, 2000). Eqs.(1) to (3) represent the reactions concerning some of the most common sulphide minerals.



These primordial reactions are often used to demonstrate, in a simplified way, the two main results of mineral–water interac-

* Corresponding author. Tel.: +351 253 604100; fax: +351 253 678206.
E-mail address: teresav@dct.uminho.pt (T.M. Valente).

tions involving sulphides: the generation of a highly contaminant effluent (related with the production of acidity, sulphate and metallic dissolution) and the development of supergene or newly formed iron-rich minerals (generically represented by the ferric-hydroxide $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$). These supergene minerals are generically called AMD-precipitates since they appear in the dependence of AMD upon evaporation, oxidation, hydrolysis and neutralization.

The geochemical and mineralogical evolution of the sulphide-rich wastes can be expressed by mild modifications of the primary paragenesis or by profound transformations, which end in new mineralogical structures, some of them with complex compositional and textural patterns, such as iron-rich hardpans (Courtin-Nomade et al., 2003; Gilbert et al., 2003; Lottermoser and Ashley, 2006; Pérez-López et al., 2007). The AMD-precipitates attest the principal evolutionary steps, and, consequently, they reflect stages of momentary stability.

The iron-oxyhydroxides, which are the final terms of such supergene evolution, are well-documented AMD-precipitates (Schwertmann et al., 1987; Bigham et al., 1994; Singh et al., 1999; Bigham and Nordstrom 2000; Kawano and Tomita, 2001; Dold, 2003; Murad and Rojik, 2003; Valente and Leal Gomes, 2005). They occur as ochre mixtures, conferring strong visual impact to the watercourses, which may decide their protagonist role in mining environments. However, the evolution of the sulphide-rich wastes is marked by other newly formed minerals that may involve intermediary terms, such as clay minerals, hydrated salts, metallic oxides, arsenates, carbonates, phosphates and native elements. Often, these minerals come in concert with supergene materials that didn't realized crystalline structure. From these groups, hydrated soluble salts, mainly metal-sulphate minerals, have been deserved careful attention. Although metastable, and therefore ephemeral, they have strong influence on the superficial environ-

ments (Dold and Fontboté, 2001; Hammarstrom et al., 2005; Harris et al., 2003). They also may give valuable information concerning the primary minerals and the composition of the solutions from which they formed as well as about the prevailing equilibrium conditions on waste-dumps.

There are several works that document the role of the soluble sulphates in AMD environments (e.g. Cravotta, 1994; Hudson-Edwards et al., 1999; Nordstrom and Alpers, 1999; Buckby et al., 2003; Sánchez et al., 2005), some of them testifying the discovery of new minerals (e.g. Jambor and Boyle, 1962). A detailed review that emphasises the relevance of metal-sulphates, from a variety of perspectives including paragenetic relations and climate control, is provided by Alpers et al. (2000).

Supergene materials from sulphide mineral oxidation have great relevance in environmental mineralogy, concerning their role controlling pollutants in contaminated environments (Cotter-Howells et al., 2000; Hochella, 2002; Vaughan et al., 2002). Both, metal soluble-sulphates, occurring as efflorescences, and iron (III)-minerals that form ochre precipitates, are key-examples of environmental minerals in the acceptance given by Valsami-Jones (2000). The firsts are worthy of this mention because they are highly soluble hosts of pollutants; their role in the release of metals and acidity, upon dissolution by rainfall, is well documented (Buckby et al., 2003; Gomes and Favas 2006; Alpers et al., 1994; Frau, 2000). The second group comprises less soluble hosts, which are often poorly crystalline phases with large surface areas. Consequently, they reduce the mobility of toxic elements, including metals and metalloids, which are retained by adsorption and coprecipitation (Smith et al., 1998; Carlson et al., 2002; Hammarstrom et al., 2003; Lottermoser, 2003). The ability to indicate, sometimes in an expeditious way, the prevailing conditions in the contaminated environment, in

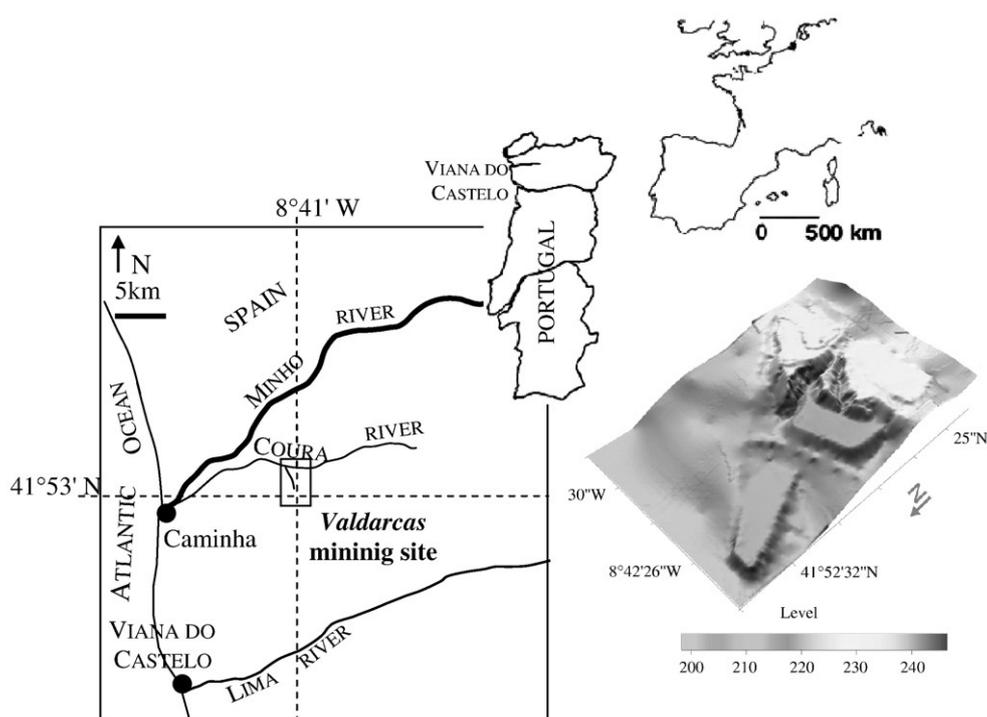


Fig. 1 – Location of Valdearcas mining site in Northern Portugal and surface map of the waste-dumps.

Table 1 – Most typical minerals from the ore deposit that were also identified at the waste-dumps (Valente, 2004)

Silicates	Carbonates and phosphates	Ore	Sulphides	Trace minerals
Actinolite				
Tremolite				
Wollastonite			Pyrrhotite	Lolingite
Plagioclase	Calcite		Pyrite	Bismuthinite
Idocrase	Siderite	Scheelite	Marcasite	Bismut
Grossular	Apatite	Wolframite	Sphalerite	Gersdorffite
Epidote		Ferberite	Arsenopyrite	Tetrahedrite
Diopside			Chalcopyrite	Cubanite
Quartz				Mackinawite
Muscovite				
Chlorite				

which they are stable, gives another sense to the specific mention of environmental minerals.

This paper documents the supergene environmental minerals generated in the dependence of the AMD conditions, at Valdarcas mining site (Northern Portugal). It provides an inventory of soluble salts and of less soluble iron-rich minerals identified at the waste-dumps and in the nearby aquatic system. Morphologic and composition aspects as well as paragenetic relations are presented for typical minerals and assemblages.

The environmental relevance of both types of AMD-precipitates is shown in two perspectives: 1) the pollution potential of typical soluble sulphates, which was demonstrated by laboratory dissolution experiments and 2) the ability of ochre precipitates to reveal the AMD conditions and therefore to act as mineralogical indicators of AMD.

2. Site description

Valdarcas mine is located in Northern Portugal, in a region where metal mining has large and long tradition (Fig. 1). Wolframite and scheelite were exploited for tungsten in a skarn ore deposit, which is rich in sulphides. The most intensive works took place underground, between the fifties and eighties, and have left about 310,000 m³ of processing wastes that have resulted mainly from grinding (grain size of about 2 mm) and from minor treatment by flotation.

Table 1 lists the minerals, from the ore deposit, that compose the mine wastes. Besides ore minerals, gangue comprises three main classes that display contrasting geochemical behaviour when exposed to weathering conditions at the waste-dumps. They are by decreasing order of abundance: sulphides (promoting acidity) > silicates (slow consumers of acidity) > carbonates (fast consumers of acidity). The sulphides are mainly represented by massive pyrrhotite and pyrite (about 95% of the sulphide mass) (Valente, 2004). Therefore, the mine wastes consist primarily of the most reactive and acid producing sulphide phases (Bhatti et al., 1993; Kwong and Lawrence, 1994; Plumlee and Nash, 1995; Jambor and Blowes, 1998).

Mine wastes, carrying these minerals, were accumulated in three major impoundments built without drainage control, which went far towards the strong physical instability. Mechanisms of water erosion, such as sheet, rill and gully erosion, have created impressive marks, like the two deep gullies illustrated in Fig. 1. The topographic irregularities are important because they control the terrain aspect and terrain slope. These, by their turn, allow the development of micro-climate conditions that must be considered when studying the occurrences of supergene minerals.

For decades, AMD has emerged from the waste-dumps exposed to weathering processes. Nowadays, marks of environmental impact still persist on the nearby aqueous system, mainly due to the discharge of acidic effluents in a small stream (Poço Negro creek), and then in the Coura river (Figs. 1 and 2).

Rainfall is the principal water supply for mineral-water interactions involving the mine wastes at Valdarcas. The region has a temperate climate and is located in the rainiest province of Portugal. Monthly precipitation range from 625 mm to 1455 mm, values corresponding respectively to the dry semester (from April to September) and to the wet semester (from October to March, with January as the rainiest month). Average annual temperature is 12.5 °C, being January also the coldest month (mean 9.4 °C), while in the summer, July and August present the highest temperatures (mean 25.7 °C) (www.inag.pt). Measurements at the waste-dumps for relative humidity gave maximum in winter (80 to 100%) and minimum (<20%) between June and August.

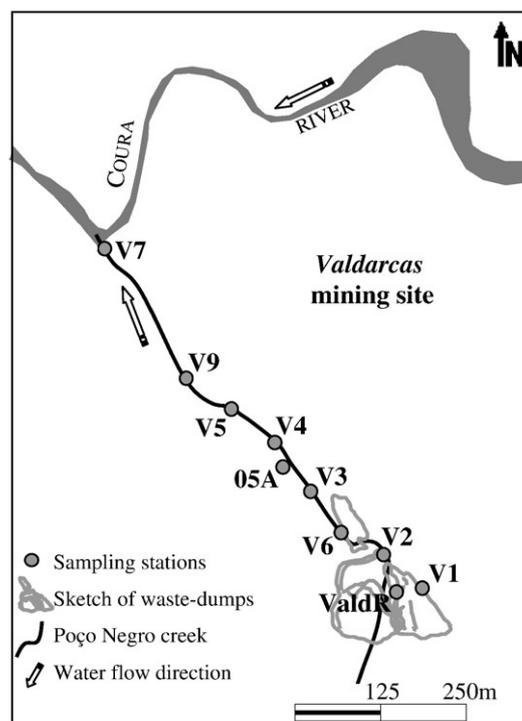


Fig. 2 – Location of the sampling stations, for ochre precipitates and AMD, at the waste-dumps and along the main effluent channel (Poço Negro creek).

3. Methods

Sampling of minerals and water (AMD) took place over about six years of field work (between January 2001 and February 2007), dedicated to construct an extensive and diversified database capable to assist the AMD modelling efforts at this mining site. Several campaigns were carried out, ensuring a minimum of four visits per year in order to represent the climatic seasonality.

3.1. Mineral sampling and analysis

For soluble sulphates, sampling fell on the waste-dumps, covering the plain surfaces, the two main gullies illustrated in Fig. 1 and other temporal varying terrain irregularities, in such a way to represent different conditions of sun exposure, humidity and topography. Samples were also collected along the Poço Negro creek, whenever their presence was detected.

As far as iron ochre mixtures are concerned, since they are ubiquitous, samples were grabbed from fixed locations at the waste-dumps and at the Poço Negro creek streambed, obeying to the sampling stations represented in Fig. 2.

Samples were stored in closed plastic bags and transported to the laboratory soon after the collection, in order to prevent mineralogical changes.

Mineralogical composition was analysed by X-ray powder diffraction (XRD) with a Philips X'pert Pro-MPD diffractometer, using Cu-K α radiation. Sample preparation procedures and the appropriated XRD conditions for these kinds of samples, in particular leading with low crystallinity, fine grain size, impurity of the assemblages and high hydration states are described in Valente (2004). Fig. 3 shows the iterative procedure used to refine samples and to achieve mineral identifications. Specifically with respect to the most instable salts, binocular microscopy and XRD were performed immediately after arriving to the laboratory, and the samples were reanalyzed to evaluate aging effects.

Scanning electron microscopy (on carbon or gold coated samples), with a LEICA S360 microscope, combined with an energy dispersive system (SEM-EDS), allowed the study of morphological and compositional aspects. In some cases, it helped in the identification of complex assemblages and of amorphous materials.

3.2. Characterization of AMD

AMD was characterized through samples collected at the sampling stations indicated in Fig. 2 (the same stations as for ochre precipitates). This work presents the hydrochemical characteristics of samples collected at two sampling stations representing discriminative environments: at the waste-dump surface (ValdR) and downstream in the Poço Negro creek (V7). The pH range is also provided for the rest of the stations. At V7 water flow is permanent; at ValdR water is ephemeral and then sampling was dependent on ponded water availability. A complete characterization of the system, including all the sampling stations, is provided in Valente and Leal Gomes (2008).

pH, electric conductivity (EC), redox potential and temperature of the water were measured in the field with a multi-parameter meter (Orion, model 1230). The following Orion probes were used: combined pH/ATC electrode Triode ref. 91-07 W, conductivity cell DuraProbe ref. 0133030 and a redox combination electrode ORP ref. 96.78. Before use, electrodes were calibrated and/or tested for accuracy, according to the manufacturer's instructions. Direct measurements of redox potential were converted relative to the hydrogen electrode (EH), using standard voltages from the manufacturer.

After collection, samples were immediately refrigerated, transported in polyethylene bottles kept in the dark and stored at 4 °C until analysis. Laboratory analyses were performed for

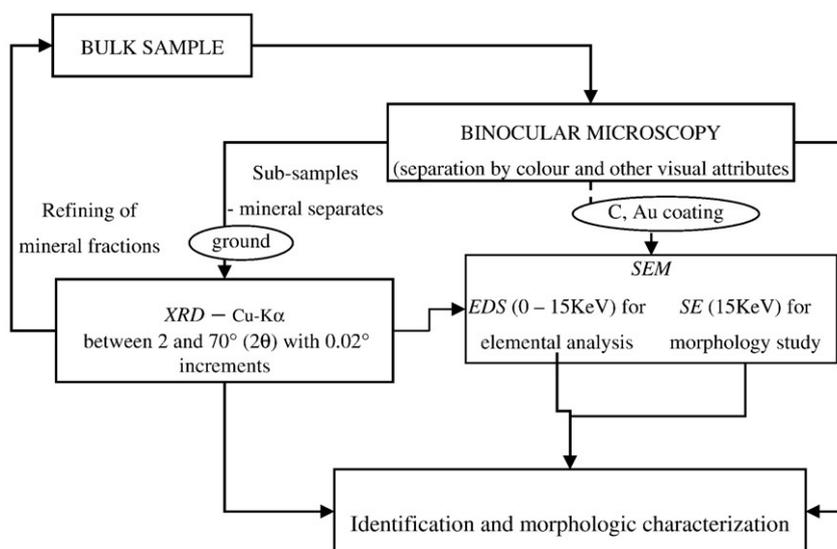


Fig. 3 – Iterative protocol for mineral identifications in soluble sulphate assemblages. XRD – Powder X-ray diffraction; SEM – Scanning electron microscopy; SE – Secondary electrons.

fluoride and chloride by ion chromatography (IC) with suppressed conductivity detection (761 Compact IC Metrohm). Sulphate was measured by turbidimetry and total acidity by volumetric determination (Standard methods for water analysis reference 4500E and 2310B, respectively). Inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy (ICP-AES) and atomic absorption spectroscopy (AAS) were used for metals. IC, ICP-AES and AAS analyses were preceded by sample filtration through 0.2 µm pore-diameter cellulose ester membrane filters, carried out immediately after arriving to the laboratory. For the analysis of metals, filtration was followed by acidification with HNO₃ 65% *suprapur* Merck.

3.3. Laboratory dissolution experiments

The dissolution of soluble sulphates was simulated in the laboratory, using air-dried materials collected at the waste-dumps. Two typical efflorescences from Valdarcas waste-dumps were submitted to dissolution in ultra-pure water: samples carrying hydrated iron-sulphates in the assemblage Melanterite (FeSO₄ 7H₂O) + Rozenite (FeSO₄ 4H₂O) and pure samples of the mixed iron and aluminium-sulphate halotrichite (FeAl₂(SO₄)₄22H₂O). The experiments were performed by the following protocol:

- Temperature and dissolution conditions: room temperature (20 °C) with constant slow agitation;

- Solution: ultra-pure water from Millipore system, with electric conductivity of 0.1–0.4 µS/cm (50 to 100 mL of solution, depending on the amount of available sample);
- Salt concentrations – 0.4; 2.0; 20; and 250 g/L;
- Duration of experiments – 15 min;
- Control parameters: the acid producing potential was determined from pH continuous measurements; the metals Mn, Fe, Al, Cu, Zn, the metalloid As, as well as the anions Fluoride, Chloride and Sulphate were analysed in the final solution (using the same methods as for AMD analyses).

4. Results and discussion

Table 2 records the supergene materials identified at the waste-dumps and downstream in the main effluent channel (Poço Negro creek). Information about abundance and seasonal persistence is included. These materials define two main modes of occurrence:

- Efflorescences (EFL) – products of evaporative processes composed by soluble metal salts, appearing monomineralic or as mineral assemblages;
- Ochre precipitates (OP) – products of oxidation and neutralization comprising relatively insoluble iron(III)-bearing minerals, often as mixtures, displaying ochre colours.

Table 2 – AMD-precipitates identified at Valdarcas

Mineral	Ideal formula	Abundance/distribution	Persistence (20 < %HR < 98)	Principal mode of occurrence
Melanterite	FeSO ₄ 7H ₂ O	++++/L	E	EFL→CRUS
Siderotil	FeSO ₄ 5H ₂ O	+/L	E	EFL
Rozenite	FeSO ₄ 4H ₂ O	++++/A	E	EFL→CRUS
Mallardite	MnSO ₄ 7H ₂ O	+/L	E	EFL
Gunningite	ZnSO ₄ 7H ₂ O	+/L	E	EFL
Gypsum	CaSO ₄ 2H ₂ O	++++/A	P	EFL→CRUS
Starkeyite	MgSO ₄ 4H ₂ O	+/L	E	EFL
Alunogen	Al ₂ (SO ₄) ₃ 17H ₂ O	+++/L	E	EFL
Meta-alunogen	Al ₂ (SO ₄) ₃ 12H ₂ O	+/L	E	EFL
Khademite	Al(SO ₄)F5H ₂ O	+/L	E	EFL
Rostite	Al(SO ₄)OH5H ₂ O	+/L	E	EFL
Tamarugite	NaAl(SO ₄) ₂ 6H ₂ O	+/L	E	EFL
Halotrichite	FeAl ₂ (SO ₄) ₄ 22H ₂ O	+/L	E	EFL→CRUS
Jarosite	KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	++++/A	P	OP→CRUS
Schwertmannite	Fe ₈ O ₃ (SO ₄)(OH) ₆	++++/A	P	OP→CRUS
Goethite	FeOOH	++++/A	P	OP→CRUS
Ferrihydrite	5Fe ₂ O ₃ 9H ₂ O	+/L	P	CRUS
Lepidocrocite	γ-FeOOH	+/L	P	CRUS
Calcite	CaCO ₃	+/A	P	CRUS+EFL
Sulphur	S	+/L	E	EFL
Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	+++/A	P	CRUS
Esmectite	(Na,Ca _{0.5}) _{0.7} (Mg,Fe,Al) ₆ (Al,Si) ₈ O ₂₀ (OH) ₄	+++/A	P	CRUS
<i>AMD-precipitates without crystallinity</i>				
Silica	SiO ₂	+++/A	P	CRUS
Iron phosphate	FePO ₄	+/L	P	CRUS
Iron sulphate	FeSO ₄	+/A	E	OP
Calcium carbonate	CaCO ₃	+/L	P	CRUS

EFL – Efflorescences; OP – Ochre precipitates; CRUS – Crusts from cementing processes; P – Persistent (present in whole range of humidity); E – Ephemeral (present only in dry conditions); L – restricted to the waste-dumps; A – spread out downstream in the creek. Qualitative abundance: rare (+) to very abundant (++++).

As secondary precipitation proceeds, salt efflorescences and ochre precipitates may develop encrustation processes. In that case, they lead to thick salt crusts or iron-rich crusts respectively. When well-developed, such encrusting products act like supergene cement for primary and secondary minerals. Some materials, like lepidocrocite, were observed only inside solid crusts (CRUS) while others were detected only as powdered efflorescences (ex: mallardite) or as relatively loosely ochre precipitates (amorphous iron sulphate). Minerals, such as melanterite and gypsum are typically involved in encrustation processes, and, therefore, it is possible to observe the evolutionary process (EFL→CRUS).

The mineral classes can be organized in accordance with abundance, in the following manner:

oxyhydroxides and sulphates > silicates (clay minerals) > carbonates > native element.

Regarding chemical composition there are species of alkali and alkaline earth metals, transition metals and aluminium. Precipitation of calcium occurs mainly as gypsum and calcite. Calcite is rarely individualized in macroscopic samples at the waste-dumps, being detected mainly inside consolidated crusts. It can also be observed, as efflorescences, over course fragments of waste rock from mining operations that are exposed around the mining site. Gypsum is very abundant and omnipresent, even in wet conditions.

Concerning iron sulphates, the inventory includes mainly simple hydrated salts with ferrous iron. Rozenite and melanterite are the more common soluble iron minerals, occurring as efflorescences. Trivalent iron was only found in relatively insoluble oxyhydroxides (ex: goethite) and hydroxysulphates (ex: jarosite).

Aluminium forms a variety of soluble sulphates, including alunogen, rostite-khademite and halotrichite. Zinc and man-

ganese have also mineralogical expression, although rare, by means of the heptahydrates gunningite and mallardite, respectively. There are also amorphous materials composed by silica, iron-oxyhydroxides and iron phosphates.

4.1. Efflorescences of soluble sulphates

Efflorescent mineralogy is formed in dry conditions by precipitation as AMD become more concentrated by evaporation. Efflorescences comprising the soluble sulphates are often complex mixtures, concerning mineralogy and morphology.

4.1.1. Mineralogy and morphology

Efflorescences were more often observed in complex miscellaneous assemblages and rarely as single phases. Figs. 4–6 show XRD patterns for some common or representative identified assemblages.

Gypsum is the most abundant mineral that occurs as efflorescences. It is an exception since it grows frequently as monomineralic rosettes or as spherical concretions, often cemented by jarosite (Fig. 7 a) and b)). However, at the same time, gypsum was detected in the major saline polymineralic aggregates.

Rozenite is also a very abundant mineral at Valdarcas (Fig. 7 c) and d)). It occurs frequently in association with melanterite and or gypsum. In fact, Rozenite+Melanterite is one of the most well represented assemblages, developing botryoidal or reticulated aggregation (Fig. 7 e)).

Individually, rozenite appears as white rosette or as whitish silky powder, while melanterite forms green or blue-green globules (Fig. 7 f)) with humid-touch. Encrustations, characterized by roughness, were observed during prolonged dry periods. The variety of colour shades, observed in the field images, is due to the impurity of the aggregates and it is consistent with the mineralogical evolution of these salts. It is

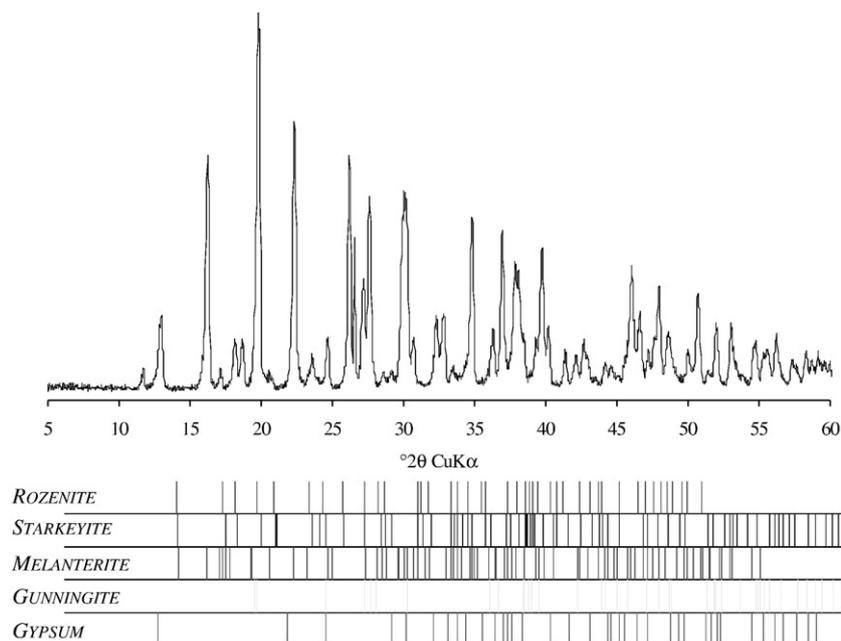


Fig. 4 – XRD pattern from a complex assemblage including the abundant iron sulphates (rozenite and melanterite) and the more rare zinc (gunningite) and alkaline earth metals (starkeyite and gypsum) sulphates. Pattern peaks from ICDD.

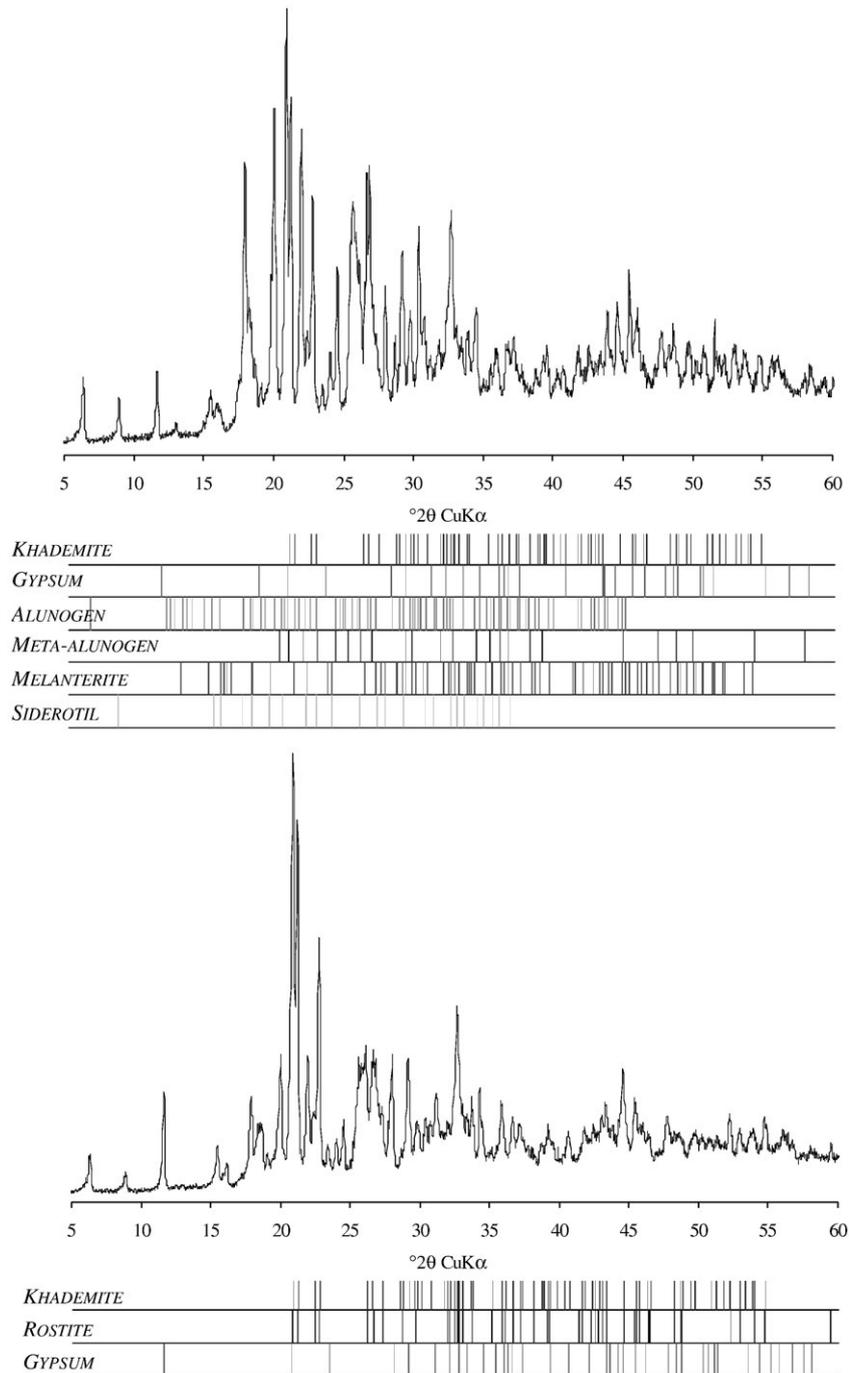


Fig. 5 – XRD patterns of efflorescences carrying several Al-sulphates. Pattern peaks from ICDD. Powder X-ray diffraction; SEM – Scanning electron microscopy; SE – Secondary electrons.

known from literature that melanterite weathers by dehydration and oxidation to form rozenite (white) and oxyhydroxides (yellow-ochre) (Nordstrom and Alpers, 1999; Chou et al., 2002; Jerz and Rimstidt, 2003). Such assemblages as well as the relationship with aluminium sulphates were confirmed by observations around the small channel illustrated in Fig. 7 g). It represents a microenvironment controlled by topographic irregularity and by the emergence of acidic effluent. The slow flow of AMD allows the sequential precipitation of several soluble minerals. Melanterite and Al-sulphates (such as

alunogen and khademite) prefer the interior sheltered portion of the channel, with higher humidity, whereas rozenite was identified at the most sunlight exposed and consequently driest areas.

Al-sulphates were rarely found without melanterite, forming intergrowths that make nearly impossible to isolate single phases. This is confirmed by SEM study (Fig. 8). In these assemblages, foliated crystals of Al-sulphates form radiated aggregates that grow over melanterite, which by its turn presents well developed prismatic crystals. Halotrichite was

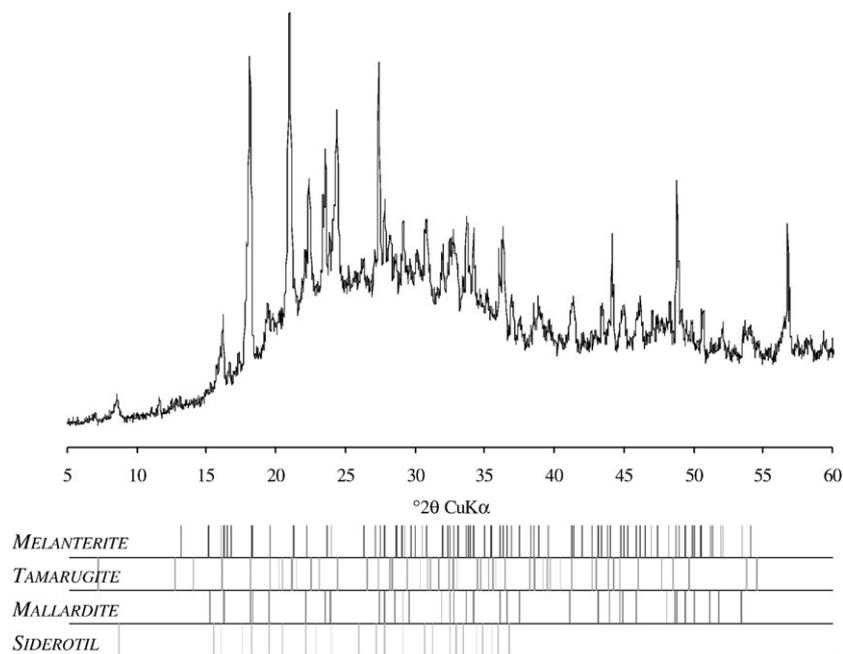


Fig. 6–XRD pattern from a complex assemblage including iron (melanterite and siderotil), manganese (mallardite) and aluminium sulphates (tamarugite). Pattern peaks from ICDD.

found with typical acicular habit and can be seen as an exception because it forms pure concretions. This mineral is more abundant at the skarn pits resulted from open pit mining, where it grows as white masses, in coexistence with amorphous spherical iron-sulphate.

Although rare, siderotil was detected in assemblages carrying melanterite and aluminium sulphates (Fig. 6). When compared with the more common Rozenite+Melanterite assemblage, the Melanterite+Siderotil showed a much intense blue colour, which may be reflecting the incorporation of copper by melanterite, like it was demonstrated by Jambor and Traill (1963). At Valdearcas it wasn't detected the coexistence of the three minerals melanterite, siderotil and rozenite, which is consistent with the results of the cited authors that demonstrated the preferential evolution of copper-bearing melanterite by dehydration to siderotil, in spite of rozenite under the same conditions.

The assemblage Rozenite+Gypsum+Sulphur was found to form well-crystallized aggregates. They occur as very fine grained yellow-coloured powders, often fairly thick (1–2 cm), characterized by softness and by intense sulphur odour. SEM study has revealed that native sulphur occurs with euhedral crystals dispersed over the sulphate efflorescences.

4.1.2. Distribution, seasonal behaviour and paragenesis

Soluble sulphates were abundantly observed at the waste-dumps and rarely along the Poço Negro creek. Here, gypsum and rozenite were the only identified soluble salts. They occur at the margins of the creek, episodically, during evaporative periods. Fig. 9 shows the distribution of the sulphate-mineral assemblages over the waste-dumps surface, for winter and summer conditions.

During summer, efflorescent blooms of gypsum and rozenite were observed as thick accumulations that cover

great extensions of the exposed surfaces. Occasionally, during the most prolonged dry periods, native sulphur joints to this assemblage. The way the well-developed sulphur crystals appear over sulphates suggests that sulphur belongs to a latest stage of slow deposition relative to sulphate minerals. Melanterite and Al-sulphates were only observed in narrow sheltered areas, in the presence of remnant effluent.

In winter, gypsum rosettes grow even on the most exposed vertical slopes of the waste-dumps in accordance with the relative low solubility of this sulphate. Highest mineralogical diversity was observed during fairly long-lasting evaporation periods (one or two weeks) that succeed intensive rainfall periods (often in February). In these conditions, melanterite was the first Fe-sulphate to be identified, followed by the Al-sulphates. If evaporation conditions were persistent, it was possible to observe the assemblage Rozenite+Melanterite (major rozenite), at the most sunny exposed conditions. These field observations, combined with the morphologic features, indicate that Al-sulphates precipitate after melanterite. Fig. 8 shows Al-sulphates over melanterite crystals, suggesting that the latest deposition of aluminium may be the result of iron depletion in the solution.

Interpretation of the occurrences and distribution justify summarizing the following remarks:

- There are microenvironments for mineral precipitation, related with topographic irregularities that have allowed a variety of exposure conditions to the climate elements; for instance, erosion has created cavernous shelters, even at the most vertical and climate exposed slopes, that ensure the persistence of the most soluble salts (melanterite and Al-sulphates) during winter (protecting them from dissolution) and during summer (protecting them from desiccation).

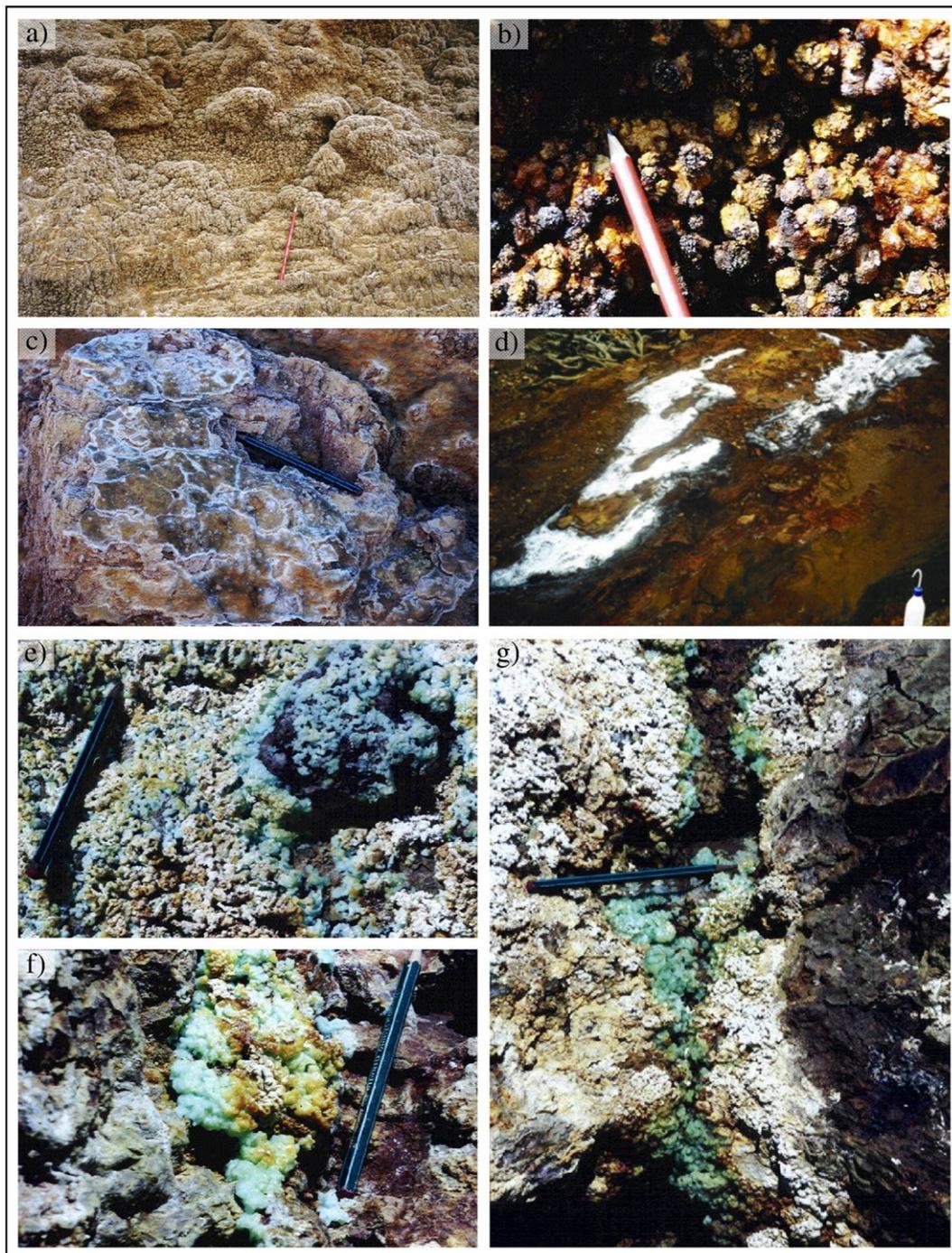


Fig. 7 – Field images of representative sulphate efflorescences. a) Fragile white rosettes of gypsum; b) Gypsum rosettes cemented by jarosite; c) Rozenite in plaques on desiccation fractures network; d) Powdered efflorescences of Rozenite+Gypsum+Sulphur; e) General aspect of the efflorescences including rozenite and melanterite with minor oxyhydroxides; f) Detail of melanterite (green globules) and of its weathering products rozenite (white) and oxyhydroxides (brown); g) Microenvironment of salt precipitation controlled by humidity conditions comprising rozenite+melanterite+Al-sulphates. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

- Melanterite occurs preferably near the most acidic seepages, indicating the proximity to its paragenetic precursors (mainly pyrrhotite); Table 3 shows the composition of the effluent at ValdR, which represents the most acidic AMD, from which this salt precipitates;

- At the most acidic seepages, melanterite precedes the Al-sulphates; this sequence suggests that the latest deposition of the aluminium minerals is controlled by high Al:Fe ratios, resulting from iron depletion in the solution; this is in accordance with the paragenetic sequence observed by

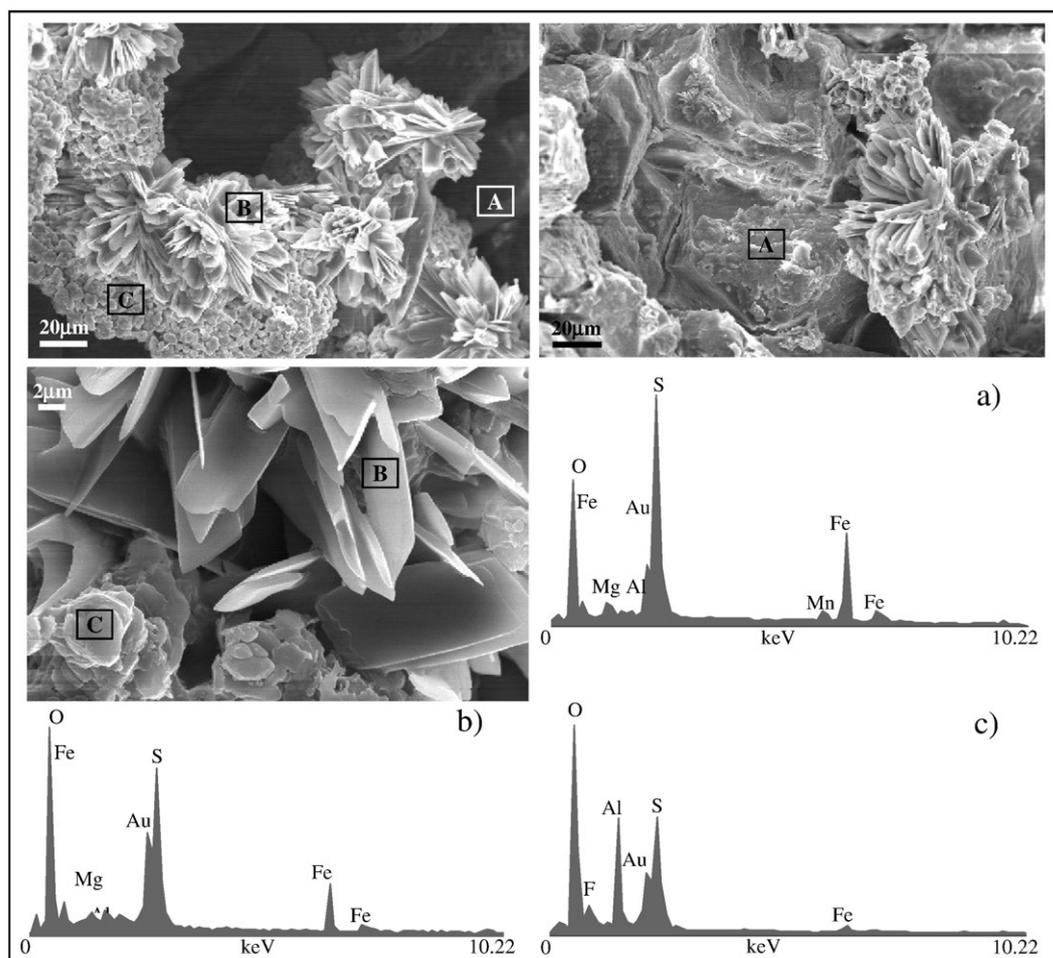
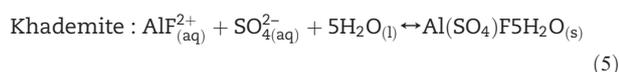
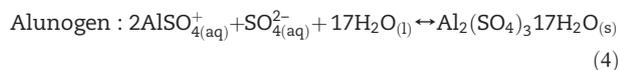


Fig. 8–Morphology of typical intergrowth between melanterite and Al-sulphates (probably alunogen e khademite). SEM (SE) images and respective EDS spectra for representative samples.

Jerz and Rimstidt (2003) in an abandoned mine located in Blue Ridge province in south-western Virginia;

- Eqs. (4) and (5) describe two possible pathways for the precipitation of Al-sulphates from the chemical evolution of the sulphate and fluoro-complexes that may exist in solutions like AMD at ValdR (Table 3):



- Rozenite grows as efflorescent blooms, formed directly by evaporation of diluted AMD solutions, or than it results from melanterite dehydration at the most acidic seepages.
- The assemblage Rozenite+Gypsum+Sulphur is only stable at the summer driest conditions;
- Gypsum was observed in the entire range of temperature and humidity.

4.1.3. AMD and pollution potential

Table 3 presents the composition of the AMD at two selected sites, represented in Fig. 2. ValdR is located at the waste-

dumps and coincides with the furthestmost soluble salt diversity. V7 is located at the main effluent channel, approximately 500 m downstream from the base of the waste-dumps.

ValdR presents the lowest pH values and the higher levels of the generality of pollutants, except sodium and potassium. These properties are in accordance with the nature of the mineral-water interactions that prevails here. In fact, ValdR represents the result of slow water percolation in the interior of the waste-dumps. This allows the dissolution of silica and other chemical species, which are solubilised even from more stable minerals such as the silicates. Therefore, the contact with the parent sulphides explains the highly acidic effluent that is also very rich in sulphate and metals. The exceptions noted for sodium and potassium may be related with the strong precipitation of jarosite, which retains efficiently these elements.

On the other hand, V7 represents more oxidized conditions and also the effect of dilution and other natural attenuation processes that occur as the creek flows away from the waste-dumps. This is well noted for metals and arsenic, given that levels are fairly lower at V7. In that condition, the chemical potential to precipitate metal soluble salts is quite lower, and, consequently, gypsum and rozenite are the only evanescent sulphates, rarely observed. Along the creek, the physical-chemical conditions impose the oxidation of iron and the

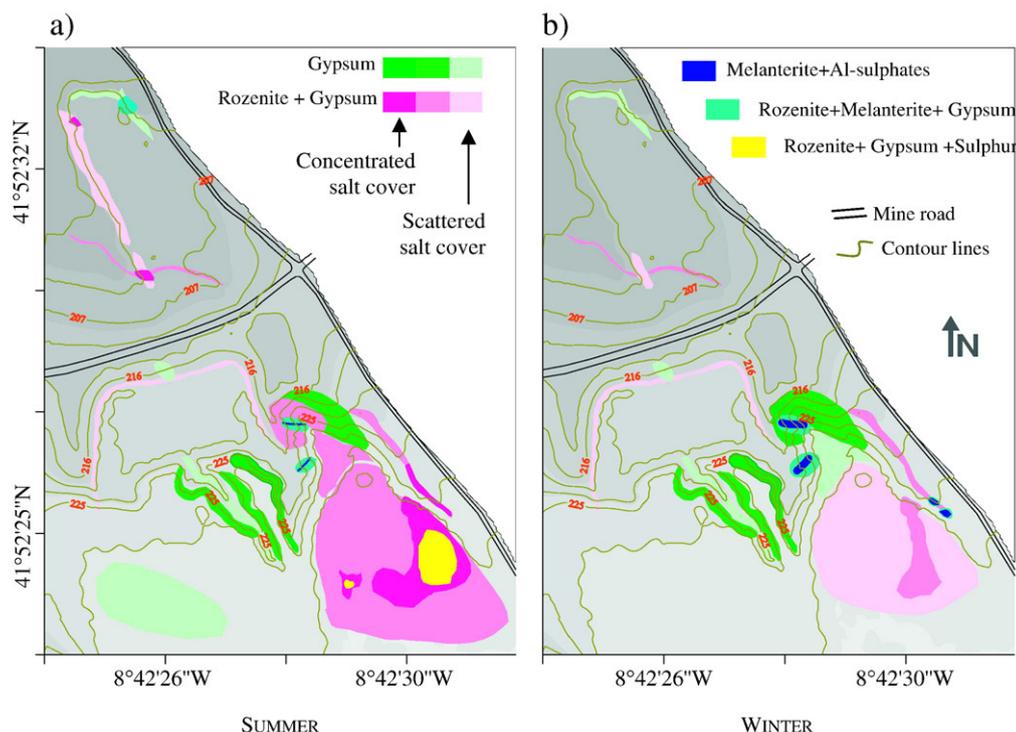


Fig. 9– Cartographic distribution of the most typical sulphate-minerals in extreme seasonal conditions. a) summer; b) winter.

precipitation of the iron(III)-bearing minerals presented in Table 2. Consequently, pollutants are being removed upstream by these minerals, as they retain iron, by incorporating it in their structure, and other metals and arsenic, by adsorption.

The ability of the identified soluble salts to produce acidic and metal-rich solutions was demonstrated through the experimental dissolution of selected typical samples. Fig. 10 shows the evolution of pH during the dissolution of halotrichite and of

mixed Melanterite+Rozenite samples at the same conditions (concentration: 20 g/L; 20 °C).

As it was observed by Frau (2000) during pure melanterite dissolution, a low and stable pH value was promptly established for both experienced samples. However, halotrichite shown higher acidic potential, with pH dropping from 5.7 to 3.2 in the first 2 min. These results are reflecting the reactions described by Eqs. (6) to (9), which display the acid generation through the release

Table 3 – Composition of AMD at two different selected sites

	Sampling station					
	ValdR (n=15)			V7 (n=24)		
	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max
pH	2.53	2.07	3.26	3.10	2.70	3.73
Temperature (°C)	14.5	9.0	22.2	14.2	8.3	21.6
Electric conductivity (µS/cm)	4970	1552	11870	866	525	1079
EH (mV)	730	535	836	737	637	790
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	5880	833	21630	327	167	460
F ⁻ (mg/L)	173	15.1	835	3.83	1.30	5.16
Acidity(mg/L CaCO ₃)	3943	1252	7788	241	98.0	372
Fe (mg/L)	2143	147	15000	48.6	1.66	160
Mn (mg/L)	204	3.20	2300	7.00	3.30	9.50
Cu (mg/L)	17.4	3.26	55.0	0.061	0.03	0.11
Zn (mg/L)	8.71	0.42	45.0	0.22	0.15	0.27
As (mg/L)	9.61	0.043	57.0	0.032	0.0006	0.30
Ca (mg/L)	257	63.6	750	28.8	14.0	39.0
K (mg/L)	1.32	0.30	4.90	1.29	0.95	2.39
Al (mg/L)	3735	39.4	42000	17.4	12.0	29.5
Na (mg/L)	2.85	0.50	5.70	5.74	4.58	6.25
SiO ₂ (mg/L)	56.2	12.5	93.5	19.5	15.0	25.5
Mg (mg/L)	43.2	5.02	107	4.82	4.25	5.66

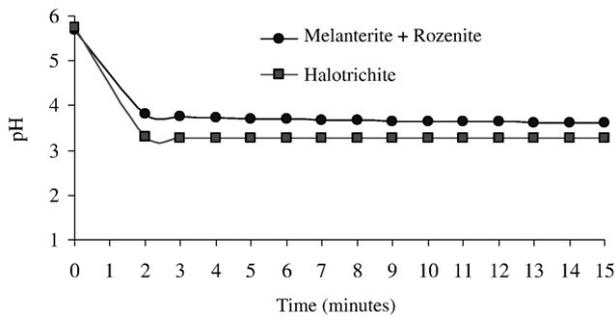
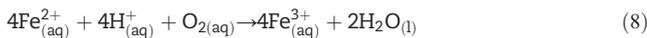
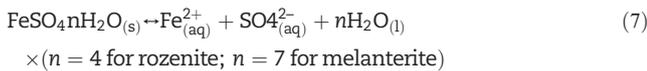
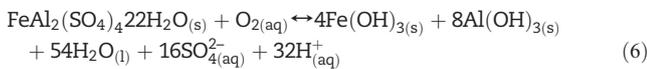


Fig. 10–pH evolution during experimental dissolution of selected samples carrying Melanterite+Rozenite and Halotrichite, for a salt concentration of 20 g/L.

of hydrogen ions from hydrous sulphates, like it was observed in several AMD environments (e.g. Cravotta, 1994; Jambor et al., 2000).



Hydrolysis of trivalent ions, such as aluminium from halotrichite, provides more significant acidity to the solution.

In the case of Melanterite+Rozenite, oxidation of ferrous iron and subsequent hydrolysis and precipitation of ferric iron explain the observed pH fall. Fig. 11 presents the behaviour observed for the more common assemblage (Melanterite+Rozenite).

The relation between salt concentration and the resultant solution pH was analysed for 15 min (Fig. 11 a)). The best fit between these parameters (Fig. 11 b)) is very close to the equation obtained by Frau (2000) with pure melanterite, which demonstrates the reproducibility of the process for salt efflorescences carrying both hydrated sulphates.

Chemical analysis of the resultant solution reveals that, as expected, upon dissolution, iron and sulphate are the dominant constituents (Fig. 11 c)). However, other toxic elements are also released, providing indication that melanterite and rozenite are incorporating metals and arsenic via adsorption or coprecipitation.

These experiments demonstrate the role of the efflorescent mineralogy as transient storage of sulphate, acidity and metals. In that way, as the climatic seasonal cycles control the mineral stability, they have influence over the AMD properties and, therefore, they control its environmental impact.

In the event of rainfall, especially after prolonged dry periods, these highly soluble sulphates will dissolve and affect the properties of the receiving aquatic system. The environmental relevance of the rinse-out effect of efflorescent mineralogy in AMD systems is well documented (e.g. Nordstrom and Alpers, 1999). According to Frau (2000), the longer the dry period, the more intense the environmental impact during the subsequent wet period.

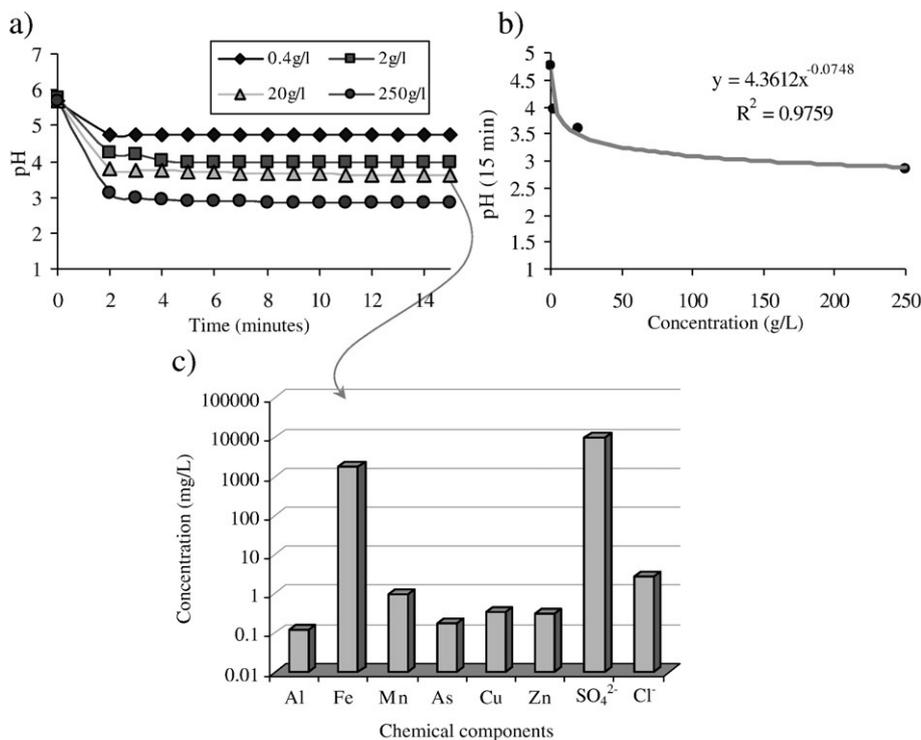


Fig. 11–Results of experimental dissolution of Melanterite+Rozenite. a) pH behaviour for different salt concentrations; b) Correlation between pH and salt concentration; c) Chemical composition of the remnant solution upon dissolution (for the tested concentration of 20 g/L).

Figs. 10 and 11 show that iron and aluminium sulphates can be dissolved instantaneously, releasing pollutants into the water. Nevertheless, in field conditions, the relation between salts dissolution and aquatic contamination may be somewhat disguised by other factors such as dilution caused by rainfall. Consequently, a small rainy event may be of major concern, while that a strong and prolonged will assure dilution and therefore minimize the environmental risk.

4.2. Iron-rich ochre precipitates

Ochre precipitates of iron (III)-bearing minerals can be found at the waste-dumps and along the effluent channel. Fig. 12 exemplifies representative occurrences as:

- flocculated materials on the water–air interface (Fig. 12 a and b)),
- streambed coatings, that progress to encrusting as precipitation proceeds (Fig. 12 c)),
- iron-cements inside solid crusts (Fig. 12 d and e)).

Encrusting develops as secondary minerals are accumulated, in such a way that the most indurate crusts represent an advanced stage of ochre precipitation. They occur typically at the waste-dumps, and, convert over time to iron-rich hardpans, herein defined accordingly with Lottermoser and Ashley (2006). In such hardpans, the iron (III)-bearing minerals are the typical cements, acting as strong binding agents for mine wastes. Others, less solid or even loosely, modes of occurrence, are broadly distributed since they can be observed in the entire system, including at the confluence in the Coura River.

4.2.1. Mineralogy and morphology

Jarosite, schwertmannite and goethite are the main components of generally impure ochre precipitates. Ferrihydrite and lepidocrocite are rare and have restricted occurrences. The first was only observed in incipient and very fragile crusts that were collected after long lasting rainy periods. The second was identified inside very solid masses, in association with other supergene materials like sulphur and goethite, composing the cement of the most iron-rich hardpans.



Fig. 12 – Field images of representative occurrences of ochre precipitates. a) water-floating brittle films displaying iridescence; b) Thick layers of orange sludge in the water–air interface; c) Encrusted coatings on the surfaces of the effluent channels; d, e) ochre-cements inside iron-rich hardpans.

From the more common minerals, the hydroxysulphate jarosite is the most crystalline. It is often identified as pure coatings at the most acidic seepages, where it gives a yellow colour to the exposed surfaces. It also forms mixtures with other minerals, principally schwertmannite, encrusting the effluent channels. Schwertmannite occurs mainly as brittle iridescent thin films and as light orange sludge. Both types of occurrences are fragile and consequently easily broken and dispersed in the water flow. During summer, in small remnant seeps and in slow flowing water, it is possible to observe several millimetres layers of bright orange sludge composed by pure schwertmannite. In those conditions its identification is rather simple because, although poorly crystalline, it has an unconfoundable diffraction pattern. Morphological features, observed in SEM-SE (Fig. 13), are diagnostic, especially valuable when schwertmannite occurs in complex mixtures. Fig. 13 c) shows tubular aggregates with typical specular and foam habits. These morphological aspects suggest that crystal growth take place as foam structures from thin and continuous iron rich films.

Goethite is generally poorly to moderately crystalline and presents spherical habit (Fig. 13b)). The most powdered aggregates are often enriched with sulphate. It occurs at the waste-dumps, but it is more abundant along the creek, where it forms light orange mixtures with schwertmannite. Pure goethite is more common at higher distances from waste-dumps, where it appears as orange to brown precipitates coating the rock surfaces.

The evidence of crystallinity, expressed by diffractometer analysis, decreases in the following order: Jarosite-Goethite-Schwertmannite.

4.2.2. Environmental relevance of ochre-precipitates distribution

The distribution of the ochre precipitates, encrusting stream-beds (Fig. 14, deserves the following comments:

- at the waste-dumps (ValdR, V1, V2 and V6) prevails jarosite; its content decreases along the creek as the distance relative to the waste-dumps increases, until it disappears at V7.
- At V7 occur the goethite-richer precipitates.
- Along the creek, between V3 and V9, the mixtures are composed by variable proportions of schwertmannite and goethite with minor jarosite;
- As distance to the waste-dumps increase there is a progressive importance of goethite relatively to schwertmannite.
- In the longest rainy periods the precipitates formed at the waste-dumps appear enriched in low crystallinity materials.

The distribution reported in Fig. 14 agrees with the paragenetic relations described by Bigham et al. (1996) for jarosite, schwertmannite and goethite. It is known that jarosite forms under more acidic conditions than the others (Baron and Palmer, 1996; Swayze et al., 2000), which explains

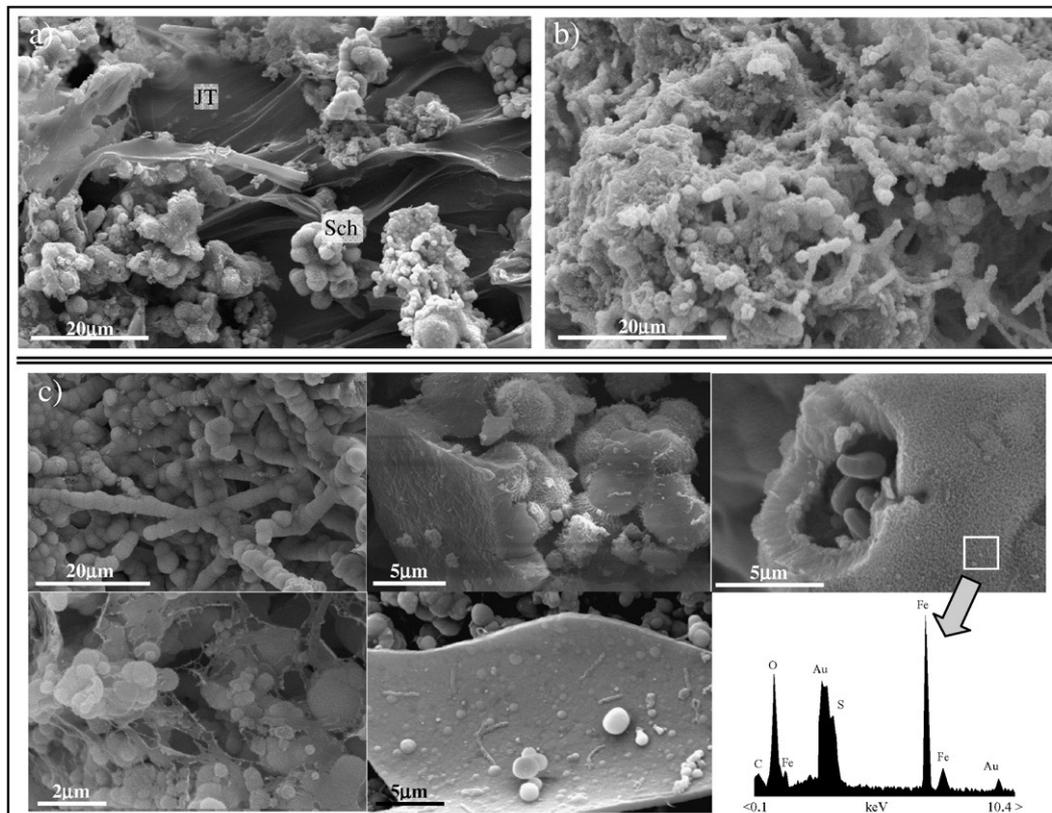


Fig. 13 – SEM-SE images showing morphological characteristics of the iron(III)-minerals that compose the ochre precipitates. a) sample with jarosite and schwertmannite collected at V4; b) sample composed of poorly crystalline goethite collected at V7; c) typical habits of schwertmannite and EDS spectrum of spherical schwertmannite.

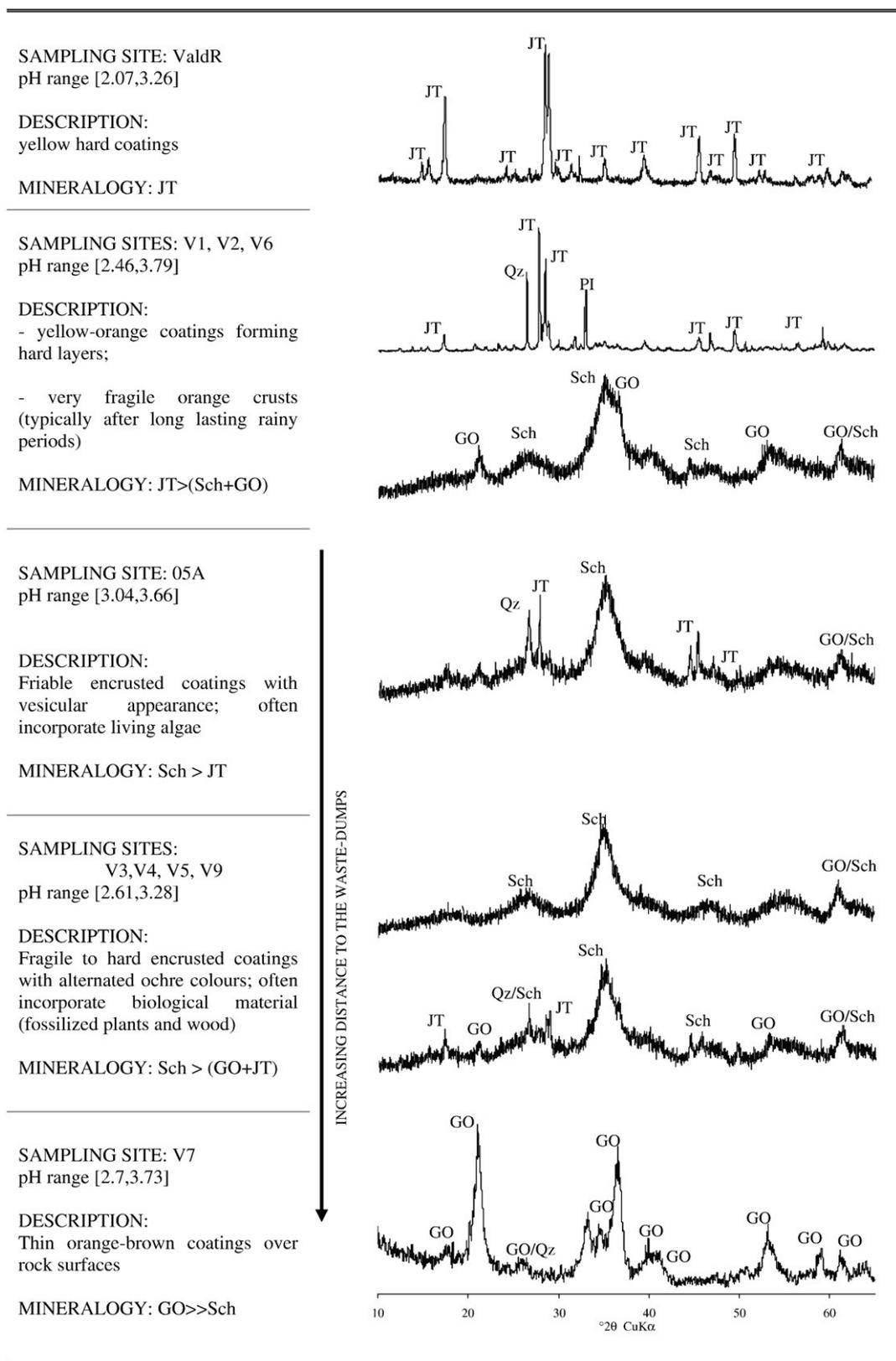
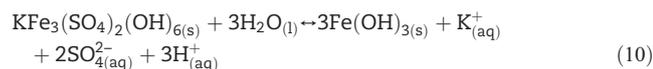


Fig. 14– XRD patterns and description of the ochre precipitates from the encrusted effluent channels. JT – Jarosite; GO – Goethite; Sch – Schwertmannite; Qz – Quartz; PI – Pyrite. The pH range at each sampling site was extracted from Valente (2004) and Valente and Leal Gomes (2008).

its predominance at ValdR. Here, persistence of jarosite is insured by the constant supply of acidic effluent from the interior of the waste-dumps and also resulting from the dissolution of the soluble sulphates that were abundantly observed at this site.

Downstream, between V3 and V9, the effect of dilution induces an increase in the pH values, which promotes the instability of jarosite relatively to the oxyhydroxides. Eq. (10) gives the transformation reaction, which produce protons. Nevertheless, dilution remains the prevailing factor, inducing pH to rise.



In those less acidic conditions, jarosite can be replaced by schwertmannite. The same occurs at the waste-dumps (V1, V2 and V6) during the rainiest periods, which suggests the influence of seasonal variations in the minerals distribution.

At the upper section of the Poço Negro creek, the low crystallinity and the schwertmannite-rich compositions may be revealing an incipient stage in the paragenetic sequence. On the other hand, goethite represents a more advanced stage, since it forms at higher pH values and as a transformation product of less crystalline phases. In fact, it is known that over time schwertmannite may convert to goethite (Bigham et al., 1996; Bigham and Nordstrom, 2000). This will explain the downstream enrichment in goethite and its predominance at the more distant sampling site (V7).

These results indicate that XRD data on the ochre mixtures may give valuable information regarding the environmental conditions related with AMD. In that way, abundance of jarosite outside the waste-dumps may indicate a recent event of acidic contamination, which is, in general, due to erosion processes taken place at the waste-dumps. This was observed after episodic instability, promoted by strong rainfall events or by anthropogenic activities, such as the illegal practice of sports on the waste-dumps. In those conditions, the spreading of the jarosite halo is a response to higher contents of acidity and sulphate in the effluent, which is promoted by the chemical reactivation of sulphide-rich wastes. Progressively, dilution attenuates this effect and schwertmannite gains importance in the ochre mixtures. In fact, the presence of low crystallinity materials, such as the floating films of schwertmannite, marks the incipient effect of natural attenuation processes. Long lasting stability periods promote further evolution to goethite. As a result of the repetition of these processes, the channel is coated with encrusted layers that present alternated colour and composition.

5. Conclusion

The environmental minerals associated with AMD at Valdarca occur as salt efflorescences or as ochre mixtures, both typically iron-dominant. The abundance, rather than the variety, of iron minerals is a consequence of the primordial composition of the mine wastes, since pyrrhotite and pyrite are the most abundant parent sulphides, leading to the generation of highly iron-rich solutions.

Regarding efflorescences, the majority are composed by gypsum and by the simple hydrated ferrous sulphates, rozenite and melanterite. Lesser amounts of Al-sulphates were also frequently detected. Salts of other transition metals were more rarely observed, which reflects the chemical potential of the iron-rich AMD from which they precipitate. The principal modes of occurrence, the composition of the mineral assemblages, as well as the geometry of the inter-growths, suggest that the distribution and paragenesis of soluble salts are controlled by the following main factors:

- climatic seasonal variation – determines the evaporation conditions and the water availability; consequently controls the succession of precipitation-dissolution cycles and the transformations allied to hydration and neutralization.
- topography and erosion – diversify the microclimate conditions that behave as thermodynamic microenvironments for precipitation at the waste-dumps.
- composition of AMD, mainly acidity and the activity of sulphate and metals – variations in composition, especially concerning the relation between iron and other metals, control the element fractionation, by diversifying the equilibrium conditions.
- hydrologic configuration of the superficial drainage – controls the fluxes of percolation, as well as the existence of seepages and ponded water, that by its turn influences the chemical composition and the oxidation conditions of AMD.

Laboratory experiments with efflorescences carrying iron and aluminium sulphates have demonstrated the ability to produce acidic, metal and sulphate rich solutions. In that way, these experiments close simulate the influence that these type of environmental minerals exercise over the quality of the nearby aquatic system. Such influence is especially important during rainfall events, after dry periods, since dissolution may promote peaks of acidic contamination, related with AMD emanating from the waste-dumps.

Ochre precipitates were the other relevant environmental minerals identified at Valdarca. They refer to iron (III)-bearing minerals that include jarosite, schwertmannite and goethite and more rarely ferrihydrite and lepidocrocite. These minerals occur with variable proportions in the ochre mixtures that are disseminated in the waste-dumps and downstream, in the riverine system. The relative mineral proportions, in concert with the crystallinity of the mixtures, is rather variable downstream and over time, accordingly with the AMD conditions. For instance, the detection of well crystalline precipitates, enriched in jarosite, at lower sections of the creek, indicates the occurrence of recent contaminant events, generally related with erosion processes at the waste-dumps.

During the year of 2007, engineering rehabilitation works were conducted at the waste-dumps, in order to homogenize the surface and to implement measures for erosion control. In the beginning of 2008 the waste-dumps, which have been covered with soil, were also seeded and planted with autochthon vegetation. Future impact of this rehabilitation project should be, from now on, subject to monitoring. For that purpose, mineralogical composition and spatial

distribution of ochre precipitates along the Poço Negro creek can be proposed as expeditious mineralogical indicators, which enhance the relevance of these AMD-precipitates as environmental minerals.

Acknowledgements

The authors thank to colleague Fernanda Lima for her help with field work. They are grateful to Lucia Guise and A. Azevedo for their assistance with chemical analysis and XRD analysis. They are also indebted to the two anonymous reviewers whose wise remarks allowed to improve the manuscript.

REFERENCES

- Alpers CN, Blowes DW, Nordstrom DK, Jambor JL. Secondary minerals and acid mine-water chemistry. In: Jambor JL, Blowes DW, editors. Short course handbook on environmental geochemistry of sulfide mine-wastes. Mineral Assoc Can; 1994. p. 247–70.
- Alpers CN, Jambor JL, Nordstrom DK, editors. Sulfate minerals: Crystallography, geochemistry and environmental significance. Rev Mineral Geochem; 2000. p. 40.
- Baron D, Palmer CD. Solubility of jarosite at 4–35 °C. Geochim et Cosmochim Acta 1996;60:185–95.
- Bhatti TM, Bigham JM, Carlson L, Tuovinen OH. Mineral products of pyrrhotite oxidation by *Thiobacillus ferrooxidans*. Appl Environ Microbiol 1993;59:1984–90.
- Bigham JM, Carlson L, Murad E. Schwertmannite, a new iron oxyhydroxy-sulphate from Pyhasalmi, Finland, and other localities. Mineral Mag 1994;58:641–8.
- Bigham JM, Schwertmann U, Traina SJ, Winland RL, Wolf M. Schwertmannite and the chemical modeling of iron in acid sulfate waters. Geochim et Cosmochim Acta 1996;60:2111–21.
- Bigham JM, Nordstrom DK. Iron and aluminum hydroxysulfates from acid sulfate waters. In: Alpers CN, Jambor JL, Nordstrom DK, editors. Sulfate minerals: Crystallography, geochemistry and environmental significance, vol. 40. Rev Mineral Geochem; 2000. p. 351–403.
- Buckby T, Black S, Coleman ML, Hodson ME. Fe-sulphate-rich evaporative mineral precipitates from the Rio Tinto, southwest Spain. Mineral Mag 2003;67:263–78.
- Carlson L, Bigham JM, Schwertmann U, Kyek A, Wagner F. Scavenging of As from acid mine drainage by schwertmannite and ferrihydrite: a comparison with synthetic analogues. Environ Sci Technol 2002;36:1712–9.
- Chou M, Seal RR, Hemingway BS. Determination of rozenite-melanterite and chalcantite-bonattite equilibria by humidity measurements at 0.1 MPa. Am Mineral 2002;87:108–15.
- Cotter-Howells JD, Campbell LS, Valsami-Jones E, Batchelder M, editors. Environmental mineralogy: microbial interactions, anthropogenic influences, contaminated land and waste management. The Mineralogical Society series; 2000. p. 9.
- Courtin-Nomade A, Bril H, Neel C, Lenain J. Arsenic in iron cements developed within tailings of a former metalliferous mine – Enguialès, Aveyron, France. Appl Geochem 2003;18:395–408.
- Cravotta III CA. Secondary iron-sulfate minerals as sources of sulfate and acidity: geochemical evaluation of acidic groundwater at a reclaimed surface coal mine in Pennsylvania. In: Alpers CN, Blowes DW, editors. Environmental geochemistry of sulfide oxidation, vol. 550. Am Chem Soc Symp Ser; 1994. p. 345–64.
- Dold B. Dissolution kinetics of Schwertmannite and Ferrihydrite in oxidized mine samples and their detection by differential X-ray diffraction (DXRD). Appl Geochem 2003;18:1531–40.
- Dold B, Fontboté L. Element cycling and secondary mineralogy in porphyry copper tailings as a function of climate, primary mineralogy and mineral processing. J Geochem Explor 2001;74:3–55.
- Elbaz-Poulichet F, Braungardt C, Achterberg E, Morley N, Cossa D, Beckers J, et al. Biogeochemistry in the Tinto-Odiel rivers (Southern Spain) and in the Gulf of Cadiz: a synthesis of the results of TOROS project. Cont Shelf Res 2001;21:1961–73.
- Evangelou VP, Zhang YL. A review: pyrite oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention. Crit Rev Environ Sci Technol 1995;25:141–99.
- Frau F. The formation-dissolution-precipitation cycle of melanterite at the abandoned pyrite mine of Genna Luas in Sardinia, Italy: environmental implications. Mineral Mag 2000;64:995–1006.
- Gilbert SE, Cooke DR, Hollings P. The effects of hardpan layers on the water chemistry from the leaching of pyrrhotite-rich tailings material. Environ Geol 2003;44:687–97.
- Gomes EP, Favas P. Mineralogical controls on mine drainage of the abandoned Ervedosa tin mine in north-eastern Portugal. Appl Geochem 2006;21:1322–34.
- Gray NF. Acid mine drainage composition and the implications for its impact on lotic systems. Water Res 1998;32:2122–34.
- Hammarstrom JM, Seal II RR, Meier AL, Jackson JC. Weathering of sulfidic shale and copper mine waste: secondary minerals and metal cycling in Great Smoky Mountains National Park, Tennessee, and North Carolina, USA. Environ Geol 2003;45:35–57.
- Hammarstrom JM, Seal II RR, Meier AL, Kornfeld JM. Secondary sulphate minerals associated with acid drainage in the eastern US: recycling of metals and acidity in surficial environments. Chem Geol 2005;215:407–31.
- Harris DL, Lottermoser BG, Duchesne J. Ephemeral acid mine drainage at the Montalbon silver mine, North Queensland. Aust J Earth Sci 2003;50:797–809.
- Hochella Jr MF. Sustaining earth: thoughts on the present and future roles of mineralogy in environmental science. Mineral Mag 2002;66:627–52.
- Hudson-Edwards KA, Schell C, Macklin MG. Mineralogy and geochemistry of alluvium contaminated by metal mining in the Rio Tinto area, southwest Spain. Appl Geochem 1999;14:1015–30.
- Jambor JL, Boyle RW. Gunningite, a new zinc-sulfate from the Keno Hill – Galena Hill area, Yukon. Can Mineral 1962;7:209–18.
- Jambor JL, Traill RJ. On rozenite and siderotil. Can Mineral 1963;7:751–63.
- Jambor JL, Blowes DW. Theory and applications of mineralogy in environmental studies of sulphide bearing mine wastes. In: Cabri LJ, Vaughan DJ, editors. Modern approaches to ore and environmental mineralogy, vol. 27. Mineral Assoc Can Short Course; 1998. p. 367–401.
- Jambor JL, Nordstrom DK, Alpers CN. Metal-sulfate salts from sulfide mineral oxidation. In: Alpers CN, Jambor JL, Nordstrom DK, editors. Sulfate minerals: Crystallography, geochemistry and environmental significance, vol. 40. Rev Mineral Geochem; 2000. p. 305–50.
- Jerz JK, Rimstidt JD. Efflorescent iron sulphate minerals: paragenesis, relative stability, and environmental impact. Am Mineral 2003;88:1919–32.
- Kawano M, Tomita K. Geochemical modeling of bacterially induced mineralization of schwertmannite and jarosite in sulfuric acid spring water. Am Mineral 2001;86:1156–65.
- Keith CN, Vaughan DJ. Mechanisms and rates of sulphide oxidation in relation to the problems of acid rock (mine) drainage. In: Campbell LS, Valsami-Jones E, Batchelder M, editors. Environmental Mineralogy: microbial interactions,

- anthropogenic influences, contaminated land and waste, vol. 9. The Mineralogical Society Series; 2000. p. 117–39.
- Kwong YT, Lawrence JR. Mineralogical controls of sulfide oxidation. National Hydrology Research Institute, NHRI contribution n° 94010; 1994.
- Lottermoser B. Mine wastes – characterization, treatment and environmental impacts. Berlin: Springer; 2003.
- Lottermoser B, Ashley P. Mobility and retention of trace elements in hardpan-cemented cassiterite tailings, north Queensland, Australia. *Environ Geol* 2006;50:835–46.
- McKibben AA, Barnes HL. Oxidation of pyrite in low temperature acidic solutions: rate laws and surface textures. *Geochim et Cosmochim Acta* 1986;50:1509–20.
- Murad E, Rojik P. Iron-rich precipitates in a mine drainage environment: influence of pH on mineralogy. *Am Mineral* 2003;88:1915–8.
- Nordstrom DK, Southam G. Geomicrobiology of sulfide mineral oxidation. In: Banfield JF, Nealson KH, editors. *Geomicrobiology: interactions between microbes and minerals*, vol. 35. *Rev Mineral*; 1997. p. 361–90.
- Nordstrom DK, Alpers CN. Negative pH, efflorescent mineralogy, and consequences for environmental restoration at the Iron Mountain Superfund site, California. *Proc Natl Acad Sci US* 1999;96:3455–62.
- Pérez-López R, Nieto JM, Alvarez-Valero AM, Almodóvar GR. Mineralogy of the hardpan formation processes in the interface between sulfide-rich sludge and fly ash: applications for acid mine drainage mitigation. *Am Mineral* 2007;92:1966–77.
- Plumlee, G.S.; Nash, J.T. Geoenvironmental models of mineral deposits – fundamentals and applications. In: Edward du Bray ed. Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposits USGS, Open-File Report 1995; 95–831.
- Ritchie AIM. Rates of mechanisms that govern pollution generation from pyretic wastes. In: Alpers CN, Blowes DW, editors. *Environmental geochemistry of sulfide oxidation*, vol. 550. *Am Chem Soc Symp Ser*; 1994. p. 108–22.
- Sainz A, Grande JA, de la Torre ML. Characterization of heavy metal discharge into the Ria of Helva. *Environ Int* 2004;30:557–66.
- Sánchez J, Pamo EL, Santofimia E, Aduvire O, Reyes J, Baretino G. Acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt (Odiel river watershed, Huelva, SW Spain): geochemistry, mineralogy and environmental implications. *Appl Geochem* 2005;20:1320–56.
- Swayze G, Smith KS, Clark RN, Sutley SJ, Pearson RM, Vance JS, et al. Using imaging spectroscopy to map acidic mine waste. *Environ Sci Technol* 2000;34:47–54.
- Schwertmann U, Carlson L, Murad E. Properties of iron oxides in two Finnish lakes in relation to the environment of their formation. *Clay Clay Miner* 1987;35:297–304.
- Singh B, Wilson MJ, McHardy WJ, Fraser AR, Merrington G. Mineralogy and chemistry of ochre sediments from an acid mine drainage near a disused mine in Cornwall, UK. *Clay Miner* 1999;34:301–17.
- Smith KS, Ranville JF, Plumlee GS, Macalady DL. Predictive double-layer modeling of sorption in mine drainage systems. In: Jenne EA, editor. *Adsorption of metal by geomedia – Variables, mechanisms and model applications*. Academic Press; 1998. p. 522–48.
- Valente, T. Modelos de caracterização do impacte ambiental para escombrelas reactivas – equilibrio e evolução de resíduos de actividade extractiva. PhD. thesis, Universidade do Minho, Portugal [in Portuguese, with English abstract]; 2004.
- Valente T, Leal Gomes C. Caracterização dos produtos ocres de drenagem da escombrela de Valdarças – indicadores das condições de drenagem ácida. XIV Semana de Geoquímica, Aveiro, Portugal; 2005. p. 535–40.
- Valente T, Leal Gomes C. The role of two acidophilic algae as ecological indicators of acid mine drainage sites. *J Iberian Geol* 2007;33:283–94.
- Valente T, Leal Gomes C. Fuzzy modelling of acid mine drainage environments using geochemical, ecological and mineralogical indicators. *Environ Geol* 2008. doi:10.1007/s00254-008-1344-7.
- Valsami-Jones E. Section 3: minerals in contaminated environments. In: Campbell LS, Valsami-Jones E, Batchelder M, editors. *Environmental Mineralogy: microbial interactions, anthropogenic influences, contaminated land and waste*, vol. 9. The Mineralogical Society Series; 2000. p. 201–5.
- Vaughan DJ, Patrick RD, Wogelius RA. Minerals, metals and molecules: ore and environmental mineralogy in the new millennium. *Mineral Mag* 2002;66:653–76.

The role of two acidophilic algae as ecological indicators of acid mine drainage sites

El papel de dos algas acidófilas como indicadores ecológicos de zonas de drenajes ácidos de minas

T. M. Valente*, C. L. Gomes

*Centre of Geological Research, Management and Valorisation of Resources – CIG-R,
Earth Sciences Department, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057, Braga, Portugal*
**Corresponding author: teresav@dct.uminho.pt, Phone: +351253604300, Fax: +351253678206*

Received: 07/10/06 / Accepted: 04/05/07

Abstract

Acidic effluents, emerging from four abandoned mines (Valdarcas, Carris, Adoria and Cerquido) in Northern Portugal were analyzed regarding physical-chemical, mineralogical and ecological characteristics. Such effluents present distinct properties since they were mobilized from wastes of different primary ores and mining procedures. Results show that acidophilic algal colonization is dominated by *Euglena mutabilis* and *Klebsormidium* sp.. Abundance and distribution of both algae are related to different intensity of acid mine drainage (AMD) at each mining site. Mineral-alga interactions influence metal deposition at Valdarcas and probably contribute to iron mineral precipitation. *Euglena mutabilis* displayed a preference for schwertmannite-rich AMD precipitates, which may suggest a mineralogical control on algal colonization. Spatial distribution of *E. mutabilis* can be used to qualitatively assess water quality improvements along the effluent channel.

Keywords: acid mine drainage; acidophilic algae; *Euglena mutabilis*; *Klebsormidium*; ecological indicator; mineral-alga interaction

Resumen

Las aguas residuales ácidas que emergen de cuatro minas abandonadas (Valdarcas, Carris, Adoria y Cerquido) en el norte de Portugal fueron analizadas según sus características físico-químicas, mineralógicas y ecológicas. Estas aguas residuales presentan distintas características ya que se desplazaron desde escombreras con estériles de diferentes tipos genéticos de depósitos minerales y procedimientos de minería. Los resultados muestran que la colonización de algas acidófilas está dominada por *Euglena mutabilis* y *Klebsormidium* sp.. La abundancia y la distribución de ambas algas está relacionada con la diversa intensidad de los drenajes ácidos de mina (AMD) en cada sitio de explotación minera. Las interacciones de tipo mineral-alga influyen en la deposición metálica en Valdarcas y probablemente contribuyen para la precipitación de minerales del hierro. *Euglena mutabilis* muestra una preferencia por los precipitados ricos en schwertmannite, que puede sugerir un control mineralógico en la colonización de algas. La distribución espacial de *E. mutabilis* puede servir para evaluar cualitativamente las mejoras en la calidad del agua a lo largo del canal receptor de AMD.

Palabras clave: Drenajes ácidos de mina; algas acidófilas; *Euglena mutabilis*; *Klebsormidium*; indicador ecológico; interacción mineral-agua

1. Introduction

From an ecological point of view, the acid mine drainage (AMD) sites are extreme environments because impose stress on the majority of organisms. Very low pH values (pH<3), high metal solubility, presence of iron colloids provoking water turbidity and deficiency in inorganic carbon and phosphorus are general features of AMD that contribute to stress conditions.

The nature of stress on aquatic systems, particularly on those affected by AMD, as well as the special strategies regarding survival in these media have been studied over the recent decades (Whitton, 1984; Gross, 2000; Fyson, 2000; Fogg, 2001; Gaur and Rai, 2001; Gimmler, 2001; Nixdorf *et al.*, 2001). The influence of acidity in decreasing the biological diversity is broadly documented, although an increased response in biomass is occasionally registered (Niyogi *et al.*, 2002). Therefore, AMD is structurally a simple ecosystem, dominated by acidophilic and acid-tolerant organisms. Functionally, the relations between autotrophs, and between them and the environment, control such ecosystems. These organisms, either prokaryotes or eukaryotes, play important roles, ensuring primary production and interfering with the mobility of chemical species dissolved in the aquatic medium. There is extensive bibliography concerning prokaryotes in mining environments, such as the chemoautotrophic *Acidithiobacillus ferrooxidans* and other acidophilic Bacteria and Archaeon microorganisms (Evangelou and Zhang, 1995; Ehrlich, 1996; Banfield *et al.*, 2000; Benner *et al.*, 2000; Bond and Greg, 2000; Robbins, 2000; Johnson *et al.* 2002). The general subjects covered by these studies

include the identification and quantification of microbial populations, their participation in the sulphide oxidation processes and in the generation and treatment of AMD.

Among eukaryotes, photosynthetic acidophilic algae have also been deserving of careful attention (Lessmann *et al.*, 1999; Gross, 2000; Brake *et al.*, 2001a; Verb and Vis, 2001; Valente, 2002; Sabater *et al.*, 2003). From a monitoring perspective, some algae, mainly the macroalgal communities, have a great deal of importance. They have optimal growth in acidic conditions, most are also mesophilic, and especially they are easy to recognize macroscopically. Therefore, although there are inherent problems with spatial and temporal heterogeneity when compared with microalgal community, they can be used as expeditious indicators in analysing systems impacted by AMD. This is the case of *Klebsormidium* and *Euglena* genus (Hargreaves *et al.*, 1975; Whitton, 1984).

Filamentous algae of *Klebsormidium* genus are well known as metal resistant and have been related with metal-rich polluted waters. Particularly *K. subtile*, *K. rivulare* and

K. flaccidium are often referred species in AMD (Nixdorf *et al.*, 2001; Verb and Vis, 2001; Sabater *et al.*, 2003).

Euglena genus has been consistently reported in literature to occur in natural or anthropogenic acidic and metal-rich waters. The competitive advantage of *Euglena mutabilis* in AMD, in comparison with other *Euglena* species, is well documented (Olaveson and Nalewajko, 2000).

Uptake of metals by algal communities and mineral-algae interactions, in general, induce more or less discrete

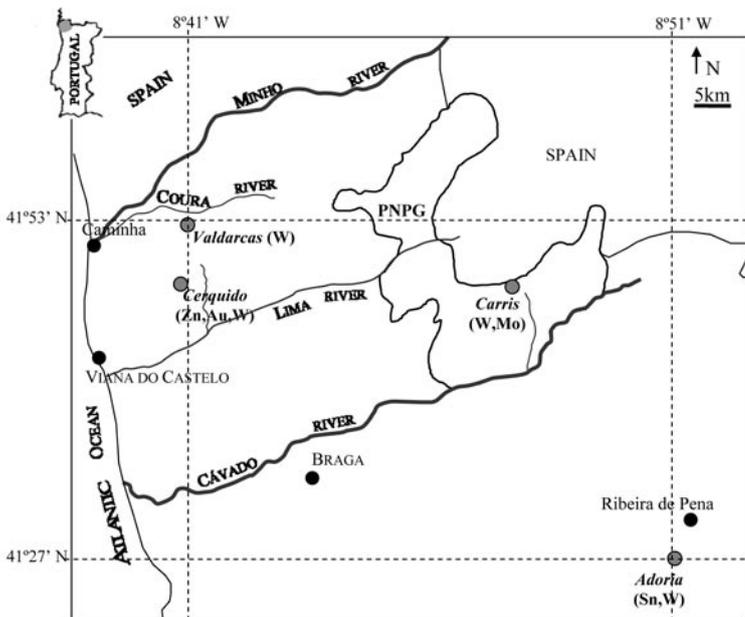


Fig. 1.- Location of the abandoned mines under consideration in Northern Portugal; Information about respective mineralization is indicated. PNP, Gerês National Park.

Fig. 1.- Localización de las minas abandonadas objeto de estudio en el norte de Portugal; incluye información sobre la respectiva mineralización. PNP, Parque Nacional da Peneda-Gerês.

Mine	Ore deposit	Properties of the mine wastes
Valdarcas	Skarn with sulphides (tungsten mineralization)	Fine tails from milling and hydrogravitic separation; abundant sulphides (pyrrhotite, pyrite, arsenopyrite), carbonates (calcite and siderite), phosphates (apatite) and calcium silicate minerals
Carris	Quartz veins in granite (tungsten and molybdenum mineralization)	Fine sulphide-rich residues from ore beneficiation; pyrite, arsenopyrite and molybdenite are the most abundant sulphides
Adoria	Quartz veins in granite and metasedimentary rocks (tin and tungsten mineralization)	Coarse grain size residues; there is a dominance of sulphide assemblages with arsenopyrite, pyrite and galena
Cerquido	Quartz veins in shear zone (tungsten, zinc and gold mineralization).	Rough fragments resulted from crushing; the mineralogical assemblages are rich in quartz and sulphides (arsenopyrite, pyrite, chalcopyrite, sphalerite and galena)

Table 1. Properties of sulphide-rich wastes in relation with the genetic type of ore deposit.

Tabla 1. Propiedades de los estériles ricos en sulfuros relacionados con los distintos tipos genéticos de depósitos minerales.

modifications in aquatic environments. These interactions may yield to biomineralization processes. Although biomineralization is broadly documented, references to such a process involving acidophilic algae in AMD are much rarer (Mann *et al.*, 1987; Brake *et al.* 2001b, 2002). These articles report the contribution of Euglenophyta to the formation of iron-rich minerals. Besides their role promoting mineral precipitation, algae can interfere with geochemical cycles in several ways. Extra-cellular metal adsorption is known as a common strategy to limit access of toxic elements to the interior of the cells and, in such a way, to survive in stressful conditions (Gaur and Rai, 2001).

As a result, algae may control acidity and metals in solution leading to natural attenuation of the AMD environmental impact (Lawrence *et al.*, 1998; Elbaz-Poulichet *et al.*, 2000; Valente, 2002; Casiot *et al.*, 2004).

The roles of acidophilic algae in acid mine drainage are pointed out in this paper through the characterization of acidic effluents from four abandoned mines in Northern Portugal: Valdarcas, Adoria, Carris and Cerquido (Fig. 1).

Combination of ecological, geochemical and mineralogical data from those effluents provides evidence of the importance of acidophilic algal colonization for environmental monitoring and impact qualification procedures in AMD sites.

2. Methods

2.1. Selection of mining sites

The studied mining sites were selected because they represent different genetic types of ore deposits. All of

them possess abandoned waste-dumps with sulphides exposed to weathering processes generating AMD. The paragenesis of mining wastes is the main distinguishing factor among the sites, namely sulphide species and respective mineral proportions are different (Table 1). Besides mineralogy, inherited from primary ore, grain size resulting from ore processing are important distinguishing features.

2.2. Water sampling

The sampling scheme used for effluent monitoring was optimised for each mining site, taking into consideration the main source of acid mine drainage, the heterogeneity of the effluents and the hydrologic regime. Valdarcas is the only site with permanent drainage, which allowed a more frequent sampling (monthly between 2000 and 2002). At Carris, Adoria and Cerquido superficial drainage has an ephemeral nature and therefore three sampling campaigns were performed (in the autumn of 1999, 2001 and 2002). Fig. 2 presents the location of sampling stations at Valdarcas, Carris and Adoria. At Cerquido, the absence of drainage did not allow the establishment of a fixed scheme. Therefore sampling during rainy periods took place in the main gallery entrance and in the waste-dump surrounding runoff. Samples of unpolluted superficial regional waters were seasonally collected in order to describe background characteristics.

2.3. Algae sampling and identification

The sampling schedule for algae was coincident with the one described for water sampling. Therefore, at Valdarcas samples were collected monthly. At the other sites they were collected only during autumn and winter, although field trips were performed during the four seasons of the year in order to register the presence or absence of algal mats. Samples for algal study were collected at the stations used for water sampling (Fig. 2) always at the same time of the day (early in the morning) and observed within 24h.

Where benthic algae were macroscopically visible, biological material and the sediment on which they grow were collected. If algae were not visible, than effluent filtrates were qualitatively obtained and examined for the presence of suspended cells.

Taxonomic identification was achieved by optical microscopy, based on morphological features and simple coloration tests (amide presence) (Round, 1975).

2.4. Water chemical analyses

pH, electric conductivity (EC), redox potential (Eh), dissolved oxygen (O₂) and temperature of the water were measured in the field with a multi-parameter meter (Orion, model 1230). The following Orion probes were used: combined pH/ATC electrode *Triode* ref. 91-07W, conductivity cell *DuraProbe* ref. 0133030, redox combination electrode ORP ref. 96.78 and a galvanic oxygen immersion probe, ref. MSR 083010.

Laboratory analyses were performed for fluoride and chloride by ion chromatography (IC) with suppressed conductivity detection (761 Compact IC Metrohm). Sulphate was measured by turbidimetry and total acidity by volumetric determination (Standard methods for water analysis reference 4500E, 2310B, respectively). Inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy (ICP-AES) was used for metals. IC and ICP-AES analyses were preceded by sample filtration through 0.2µm pore-diameter cellulose ester membrane filters. For metal analysis filtration was followed by acidification with HNO₃ 65% *suprapur* Merck.

2.5. Mineralogical Analysis

Mineralogical composition of AMD precipitates, used by algae as attachment surfaces, was analysed by x-ray powder diffraction (XRD) with a Philips X'pert Pro-MPD diffractometer, using Cu-K_α radiation. Sample preparation procedures and the appropriated XRD conditio-

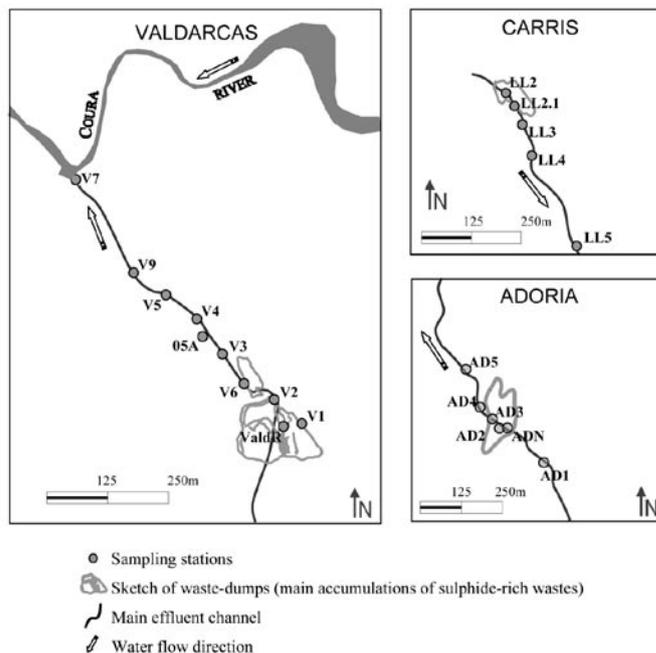


Fig. 2.- Location of water sampling stations.

Fig. 2.- Localización de los puntos de muestreo de agua.

ns for these kinds of samples, particular leading with low crystallinity and mineral mixtures, are described in Valente (2004). Scanning electron microscopy (on carbon or gold coated samples), with a LEICA S360 microscope, combined with an energy dispersive system (SEM-EDS) allowed the observation of morphological and compositional aspects of mineral-alga interactions.

3. Results and discussion

3.1. Physical and chemical characterization

At Valdarcas, Carris and Adoria, AMD emerges at the base of the enriched-sulphide waste-dumps. Acidic seepages and surface runoff are naturally drained into small permanent (Valdarcas) or ephemeral streams, which represent the main effluent channels (Fig. 2). At Cerquido, there is no evidence of persistent acidic effluents arising from the waste-dumps. Signs of AMD can be detected in the surface runoff and in the water flowing from a mine gallery, but only during the most intensive and lasting rainy periods.

Table 2 lists the main features of these effluents concerning the field parameters and specific chemical composition. A comparison of the effluents is provided through a radial representation of some common physical-chemical indicators (Fig. 3). This representation uses mean values and regards the effluent collected at and near the waste-

Physical-chemical indicator		Valdarcas n=175	Carris n=15	Adoria n=18	Cerquido n=12
pH	Mean	3.00	4.13	4.67	4.69
	Min	2.07	3.49	4.18	4.12
	Max	3.79	4.96	5.85	5.20
EC(μ S/cm)	Mean	1760	156	71.7	31.4
	Min	196	50.0	29.0	22.0
	Max	11870	253	202	37.2
Eh (mV)	Mean	470		382	373
	Min	133	nd	304	304
	Max	627		440	429
O ₂ (mg/L)	Mean	6.50		6.34	
	Min	1.80	nd	5.35	nd
	Max	17.0		7.05	
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Mean	1412	40.5	30.5	4.10
	Min	25.0	21.3	6.49	3.40
	Max	21630	54.2	113	4.81
F ⁻ (mg/L)	Mean	23.7		0.51	
	Min	0.23		0.15	
	Max	835	<0.01	0.64	<0.01
Acidity (mg/L CaCO ₃)	Mean	885	-	-	-
	Min	28.0	-	-	-
	Max	9017	-	-	-
Fe (mg/L)	Mean	370	2.57	0.16	0.029
	Min	0.90	0.08	0.09	0.027
	Max	15000	6.90	0.21	0.032
Cu (mg/L)	Mean	1.89	0.66	0.17	0.012
	Min	0.02	0.23	0.03	0.010
	Max	65.0	0.94	0.30	0.013
Zn (mg/L)	Mean	1.07	0.29	0.92	
	Min	0.02	0.18	0.21	
	Max	45.0	0.42	1.20	<0.063
As (mg/L)	Mean	0.92	0.0097		
	Min	<0.0063	<0.0063		
	Max	57.0	0.014	<0.0063	<0.0063
Al (mg/L)	Mean	312	1.88	1.25	0.25
	Min	1.00	1.08	1.00	0.21
	Max	42000	2.71	1.50	0.30

nd – not determined; - absence; n – number of samples.

Table 2.- Summary of the effluent chemistry regarding some selected indicators.

Tabla 2.- Resumen de la composición química de las aguas residuales según algunos indicadores seleccionados.

dumps up to a distance of approximately 500m.

At Cerquido, the local hydrology which determines the absence of water during most of the year and the coarse grain size of residues limit the interaction between water and enriched-sulphide rough residues. As a result, physical and chemical indicators reveal the less contaminated effluent.

The most acid and generally degraded effluent is observed at Valdarcas. Contamination extends downstream, affecting the Coura River, where effluent discharges (Fig. 2). An important attribute of this effluent is its strong chemical heterogeneity. Highest pollutants concentrations, corresponding to maximum values presented in Table 2, are generally obtained in seepages at the base of the

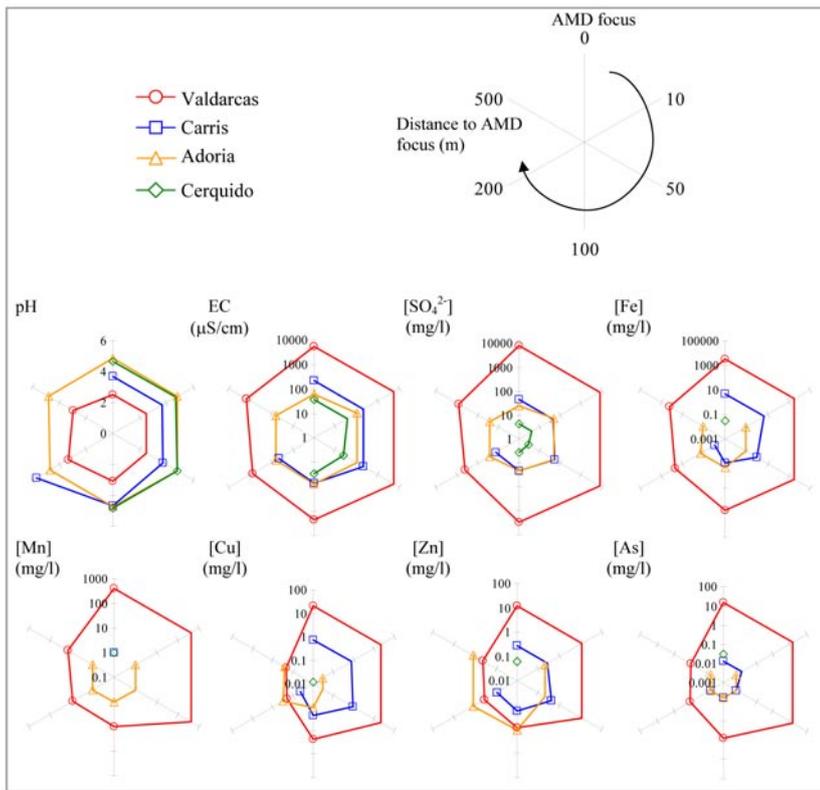


Fig. 3.- Radial representation of physical-chemical parameters reflecting the effluent quality near the waste-dumps (up to a distance of 500m) (average concentrations).

Fig. 3.- Representación radial de los parámetros físico-químicos que reflejan la calidad de las aguas residuales cerca de las escombreras (hasta una distancia de 500m), (concentraciones medias).

waste-dumps during the first autumn rains. In contrast, lowest concentrations are measured after long raining periods, during winter, which allow dilution to occur, at the more distant sampling station (V7, Fig. 2). The fine grain size of residues and the abundance of very reactive sulphides (pyrite and pyrrhotite) are the main promoters of such chemical characteristics. Carris and Adoria are the intermediate situations: either because of coarser grain size or the greater stability of the major sulphides, in contrast to the strong reactivity of pyrrhotite and pyrite.

3.2. Acidophilic algal colonization

A comparison of algal colonization is given in Table 3. None of the algae was detected in unpolluted regional waters, and most of them have been recognized as acidophilic, or at least, acid-tolerant (Gimmler, 2001). Qualitative information about abundance near waste-dumps (up to a distance of 100m) is provided. Three classes of dispersion were distinguished, considering the distance that algae are capable to extend colonization.

Acidophilic colonization is more important at Valdarcas, where a maximum of six genera were identified. Especially well-succeeded colonizers belong to Euglenophyta and Chlorophyta (*Euglena mutabilis* and *Klebsormidium* sp., respectively) are the most abundant and persistent ones.

3.3. Occurrence and distribution of *Euglena mutabilis* and *Klebsormidium* sp.

The abundance and distribution of both taxa suggest a differentiation among the effluents. *Klebsormidium* sp. is present in all them, indicating a wide tolerance to different levels of chemical contamination. It forms green benthic communities in flowing shallow water (Fig. 4a). At Valdarcas, it is highly abundant and widespread along the entire extension of the effluent channel, until discharging point in the Coura River (V7, Fig. 2). These algal mats, primarily composed by *Klebsormidium* sp., also have *Euglena mutabilis* cells and minor filamentous *Mougeotia* sp., presenting a structure similar to the one reported by Stevens *et al.* (2001) from AMD waters in Ohio.

Because they are densely populated and act as barriers to the flux of iron oxidehydroxide particles, these green mats appear, sometimes, with an ochre coloration (Fig. 4a). It can also be observed on the waste-dump surface, binding mineral particles (Fig. 4b). Long interwoven filaments form labyrinth algal mats, which precede more developed biological crusts, like the ones described by Lukesová (2001).

At Carris, communities are sparse and restricted to the area near waste-dumps. They are even more restricted in Cerquido, being detected only during winter in a mine gallery entrance.

ALGA	VALDARCAS		CARRIS		ADORIA		CERQUIDO	
	Abund.	Disp.	Abund.	Disp.	Abund.	Disp.	Abund.	Disp.
<i>Characium</i> sp.	+++	CII	n.d.		n.d.		n.d.	
<i>Mougeotia</i> sp.	+++	CII	n.d.		n.d.		n.d.	
<i>Klebsormidium</i> sp.	++++	CIII	++	CI	+++	CI	+	CI
<i>Characiopsis</i> sp.	+++	CII	n.d.		n.d.		n.d.	
<i>Euglena mutabilis</i>	+++++	CII	n.d.		n.d.		n.d.	
<i>Eunotia</i> sp.		i.e.	n.d.		+	CI	+	CI

Qualitative scale of abundance is between rare (+) and very abundant (+++++). Classes of dispersion: CI – algal colonization is restricted to the area near waste-dumps (up to 100m); CII – algal colonization extends up to a distance of approximately 500m from the waste-dumps; CIII – algal colonization is widespread at full length on the effluent channel (approximately 800m); n.d. – not detected; i.e. – isolated specimen.

Table 3. Acidophilic algae identified in the effluents.

Tabla 3. Algas acidófilas identificadas en las aguas residuales.

A rather different situation is accounted for *Euglena mutabilis*. This species is a particular attribute of Valdarcas, since it was not detected in the other effluents. It appears mainly as submerged benthic green mats covering the effluent channel. It also forms exposed communities in acidic seepages. Brake *et al* (2001b) describe similar occurrences at the abandoned Green Valley coal mine site in western Indiana, USA. These authors use the thickest of biofilms and the level of channel coverage to assess relative population density. At Valdarcas, these parameters visually indicate a decrease in the effluent colonization with distance relative to the waste-dump. In fact, very densely populated communities are found in the seepages at the base of the waste-dump and in the upper section of the effluent channel (from V6 to V4, Fig. 2). Here, several millimetres-thick biofilms, covering the entire channel width, can be observed during the period of the most intensive productivity (between spring and summer) (Fig. 5). However, for higher distances, communities begin to be sparser, until complete absence at V7.

3.4. Factors controlling algae distribution

Field observations at Valdarcas about *E. mutabilis* distribution indicate a preference for growing on two types of geological material. One, a white colour, has a restricted occurrence in acidic seepages at the base of the waste-dump (V2). It is composed of amorphous iron phosphate and supports the larger observed specimens, living in airexposed communities (Fig. 5a). Other growing surfaces, with ochre colours, are ironrich precipitates, hard coating the effluent channel. XRD analysis indicates that those precipitates are mixtures of variable proportions of

goethite, schwertmannite and jarosite, which is in accordance with reported results from similar AMD environments (Bigham and Nordstrom, 2000; Murad and Rojik, 2003). Densely populated communities are more often associated with fresh precipitates that are low in crystallinity and composed of major schwertmannite and jarosite and minor goethite. Fig. 5b shows submersed communities, colonizing a yellow ochre mixture and avoiding the darkest one, which is goethite richer.

Table 4 summarizes the range of some physical and chemical parameters, derived from where *Euglena mutabilis* and *Klebsormidium* sp. form more densely populated communities. Fig. 6 represents the relationship between sulphate and pH for AMD at Valdarcas. Conditions that support both taxa are marked, discriminating two fields of algal preferences. *E. mutabilis* occurs at the highest sulphate levels and, in comparison with *Klebsormidium* sp., seems to have preference for more highly contaminated conditions. This explains its abundance in seepages and at the upper section of the effluent channel. In contrast, the improvement in water quality along the channel, related with natural attenuation processes, like dilution, adsorption and precipitation, may be the explanation to its absence at the channel mouth (V7).

Fig. 6.- Relation between sulphate and pH at Valdarcas with projection of the conditions that support *Euglena mutabilis* and *Klebsormidium* sp.

Fig. 6.- Relación entre las cifras de sulfato y el pH en Valdarcas, con la proyección de las condiciones que favorecen las especies *Euglena mutabilis* y *Klebsormidium* sp.

Acidophilic algal colonization was not detected in some located, very oxidizing and acidic seepages, where

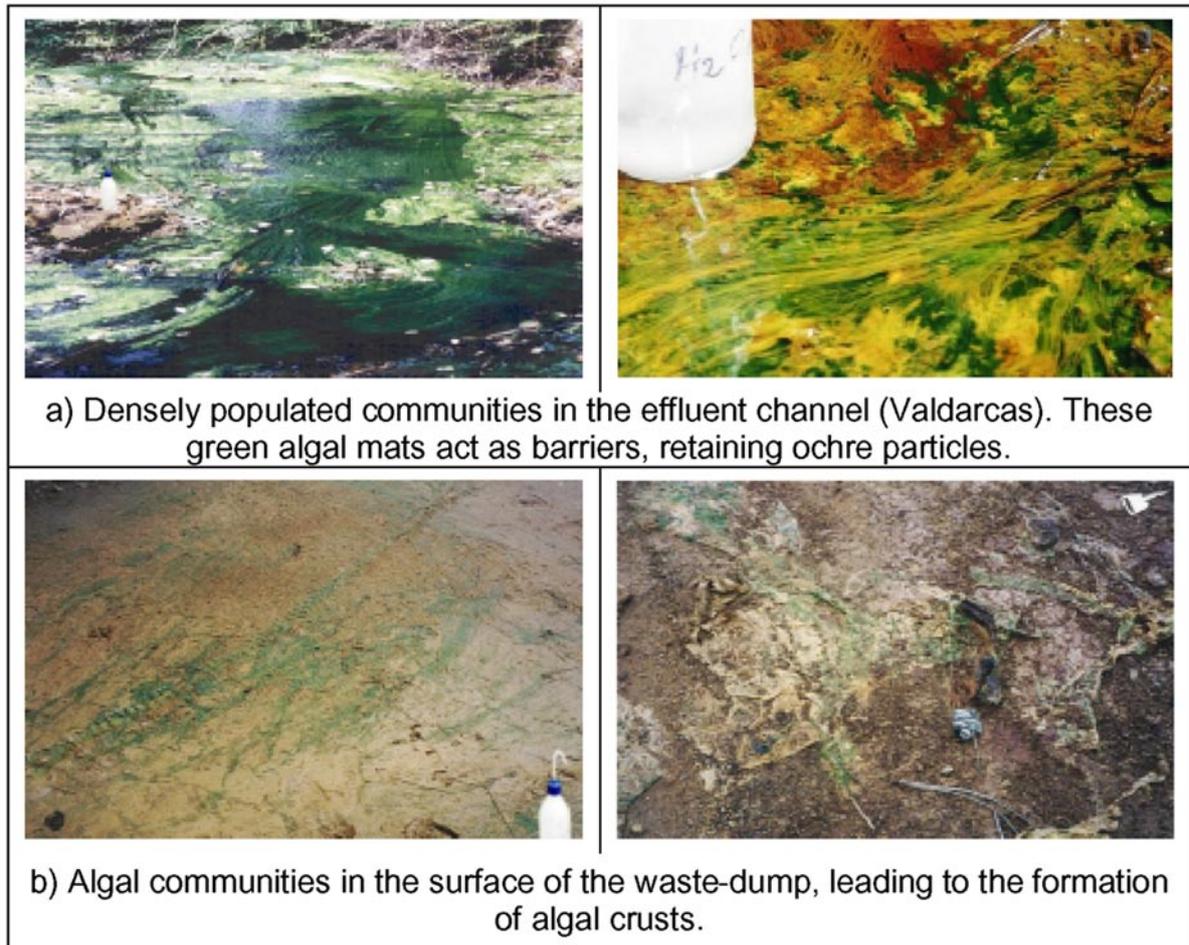


Fig. 4.- Colonization by *Klebsormidium* species.

Fig. 4.- Colonización de las especies *Klebsormidium* sp.

sulphate and iron are rather high (ValdR, Fig. 2). However, the concentration of these constituents is compatible with growth ranges reported in literature for *Euglena* and *Klebsormidium* species in AMD (Sabater *et al.*, 2003). This absence could result from a toxic effect caused by other potentially toxic elements, like aluminium and fluoride, which present here the highest concentrations.

Another hypothesis is based on Brake *et al* (2001b) statements regarding iron speciation. These authors suggested that *E. mutabilis* prefers environments where aqueous phases of iron (II) are in excess relative to iron (III), which is not the case of such seepages.

Other than chemical factors may constrain algal colonization at these seepages. For instance the absence of flowing shallow water probably limits *Klebsormidium* fixation. Another possibility concerns a mineralogical effect, once field observation suggests that *Euglena* prefers to grow over schwertmannite-rich precipitates. However schwertmannite is rather rare at these seepages, where jarosite is the major component of iron precipitates.

To understand geochemical and mineralogical control of algae distribution needs further investigation. Particu-

larly, laboratory experiments using isolated organisms are necessary to identify and quantify chemical preferences. Growing experiments using synthetic AMD solutions and different mixtures of iron precipitates may be useful to confirm or evaluate the influence of schwertmannite on *Euglena mutabilis*.

4. Mineral-alga interactions

At Valdarcas no clear evidence of intracellular iron-rich precipitates was found. However it is common to observe accumulations of iron precipitates outside the alga cells, while the interior stays clean and transparent. Deposits of ochre precipitates can be observed at *Klebsormidium* sp. cell walls and at the extra-cellular polymers segregated by *Euglena mutabilis* (Fig. 7). In that way these algae may have ability to modify the effluent chemistry, particularly concerning iron and related elements.

E. mutabilis and schwertmannite form a typical assemblage at the Valdarcas effluent. It is common to observe *Euglena* cells and sometimes their paramylon grains (which are the typical food reserve polymer of Eugleno-

Parameter	<i>Euglena mutabilis</i>	<i>Klebsormidium</i> sp.
pH	2.5 – 3.4	3.0 – 3.5
TEMP. (°C)	13.0 – 18.0	11.5 – 22.0
EC (µS/cm)	1700 – 7000	500 – 2000
Eh (mV)	275 – 475	200 – 500
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	1000 - 5200	180 – 1200
MÁX (ΣCu, Zn, As) (mg/l)	4.0	4.0

Table 4. Range of selected physical-chemical effluent parameters, measured where algal colonization is better succeeded. Data are from Valdarcas mine.

Tabla 4. Gama de parámetros físico-químicos de aguas residuales medida donde la colonización de algas ha proliferado más. Los datos proceden de la mina de Valdarcas.

phyta) surrounded by schwertmannite spheres (Fig. 8). This kind of relationship suggests that schwertmannite may to precipitate from a biological nucleus, related to *Euglena* presence.

Oxygenation through photosynthetic activity by algae may also interfere with iron speciation at Valdarcas. Distribution of dissolved oxygen is related to the cycles of biomass productivity (Fig. 9). Elevated levels of dissolved oxygen between spring and summer create geochemical microenvironments that may be favourable to iron precipitation. Where *E. mutabilis* forms densely communities it is possible to observe laminated deposits with honey-comb like texture, just like the ones described by Brake *et al* (2002) (Fig. 5b), referring to the contribution of this alga to the formation of ironrich stromatolites in acid mine drainage systems.

5. Conclusion

The four AMD sites studied present different degrees of contamination. This difference is expressed by physical and chemical parameters. For instance, the mean pH value varies between 3.0 (at Valdarcas) and 4.7 (at Cerquido). The pH and the chemical composition generally reflect a decrease in acid contamination from upstream

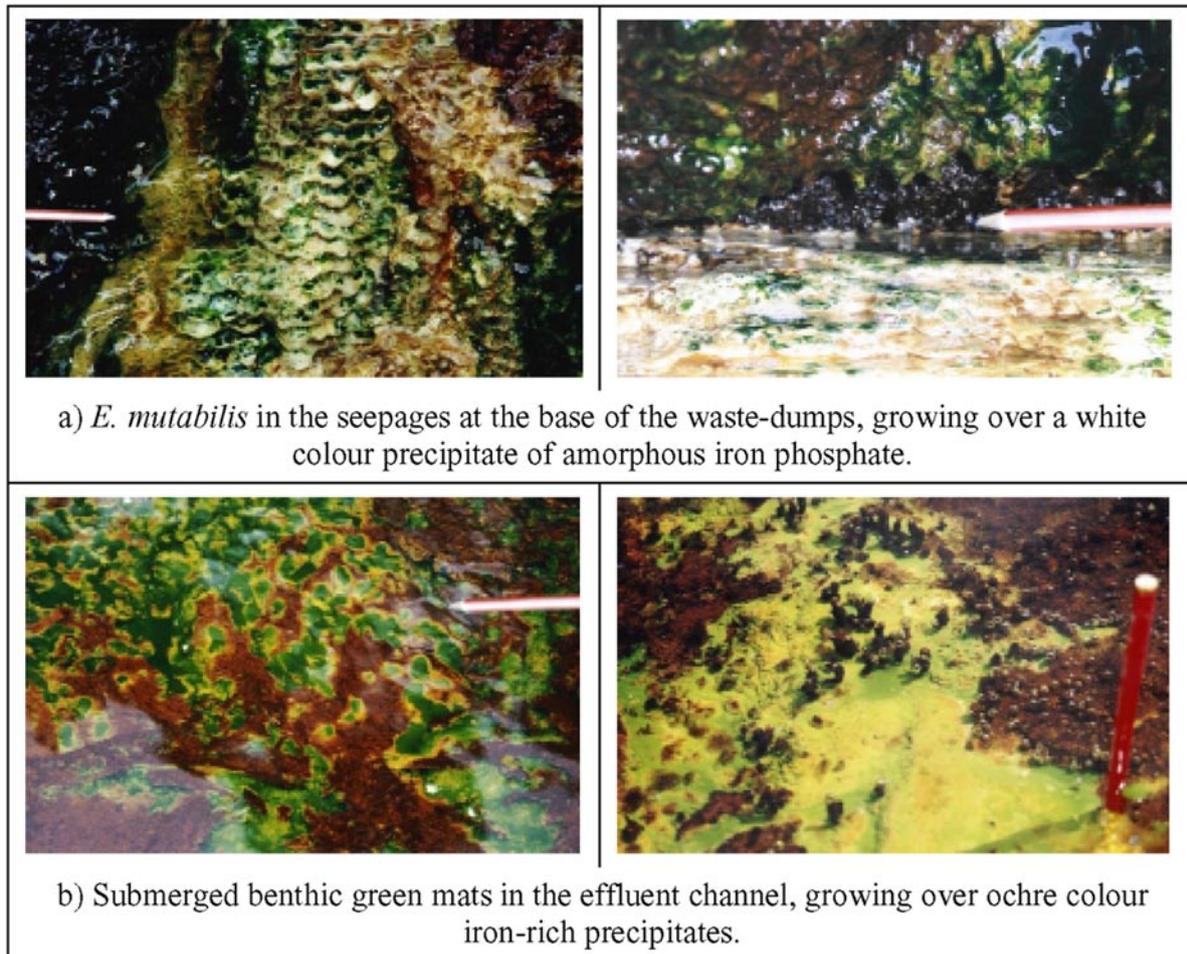


Fig. 5.- Colonization by *Euglena mutabilis*.

Fig. 5.- Colonización de la especie *Euglena mutabilis*.

to downstream due to natural attenuation. Such pattern is also expressed by acidophilic algal colonization. At Valdarcas, the abundance and strong reactivity of sulphide wastes induce the most acidic and metal-rich environment. Indeed, this is the only effluent with *E. mutabilis* colonization. The spatial distribution of *E. mutabilis* can be used to qualitatively assess water quality improvements along the effluent channel. Densely populated communities are established where effluent is more acid and metal-rich polluted.

Klebsormidium sp. is established in all the effluents. However, its abundance and dispersion can also be allied with effluent chemistry. Valdarcas presents widespread and densely populated communities while they are sparse and restricted to the upper section of the effluent channels at Adoria and Carris. *Klebsormidium* sp. is scarcely detectable at Cerquido.

In relation to the factors that control algae distribution, results indicated that *E. mutabilis* prefers to grow up on schwertmannite-rich precipitates. This statement allied

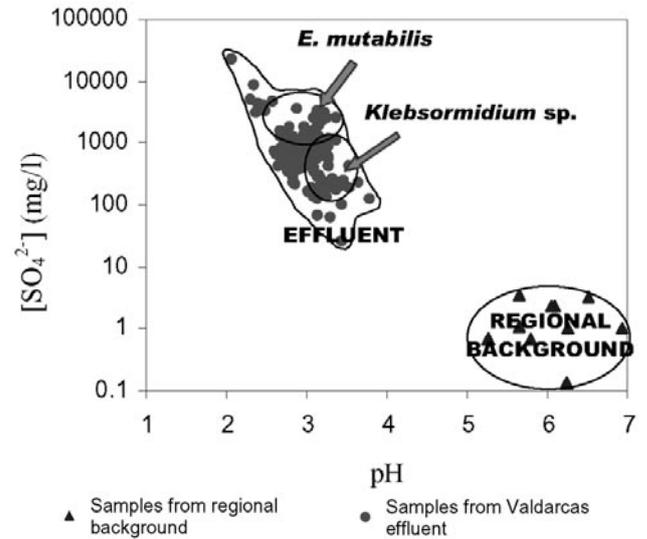


Fig. 6.- Relation between sulphate and pH at Valdarcas with projection of the conditions that support *Euglena mutabilis* and *Klebsormidium* sp.

Fig. 6.- Relación entre las cifras de sulfato y el pH en Valdarcas, con la proyección de las condiciones que favorecen las especies *Euglena mutabilis* y *Klebsormidium*

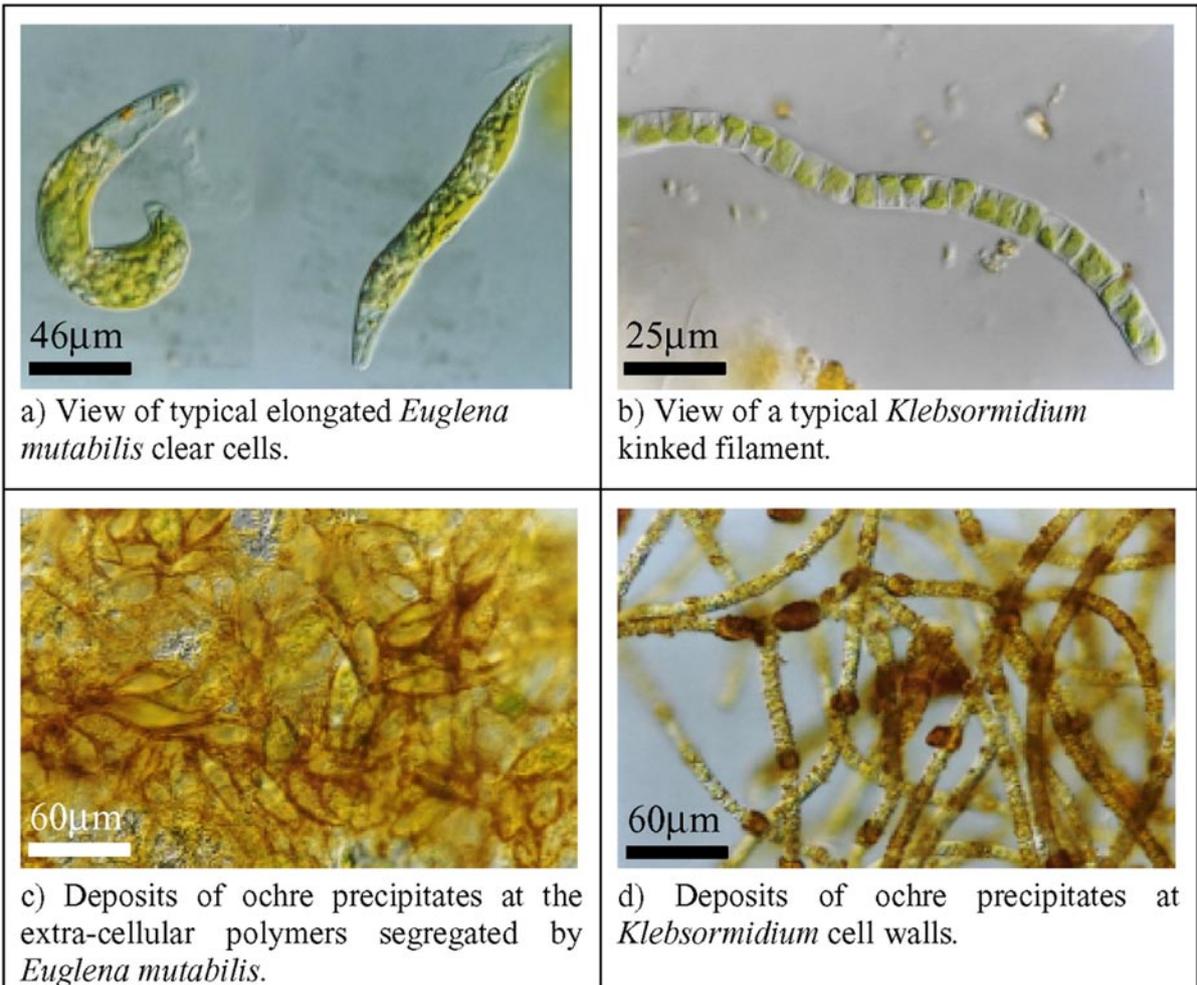


Fig. 7.- Photomicrograph showing algal morphology and deposition of ochre iron-rich precipitates.

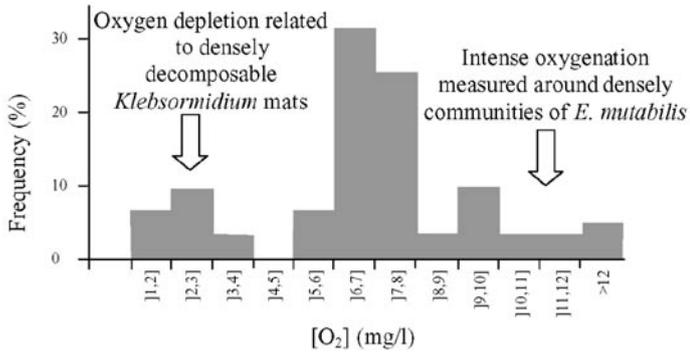


Fig. 9.- Dissolved oxygen distribution of samples from Valdearcas effluent.

Fig. 9.- Distribución del oxígeno disuelto en las muestras de aguas residuales de Valdearcas.

to field observations about the existence of oxygenated microenvironments created by algal activity suggest that algae influence iron minerals precipitation, especially schwertmannite.

Acknowledgements

We thank Prof. J. Rino and Prof. A. Calado from research centre - ELMAS-Portugal for help with algal identification. We are grateful to colleagues Lucia Guise (Earth Sciences Department, University of Minho) for assistance with laboratory analysis and Fernanda Lima (from CIG-R) for her help with field work. We also thank the reviewers for their valuable comments.

References

Banfield, J., Welch, S., Zhang, H., Ebert, T., Penn, R. (2000): Aggregation-based crystal growth and microstructure development in natural iron oxyhydroxide biomineralization products. *Science*, 289: 751-754.
 Benner, S., Gould, W., Blowes, D. (2000): Microbial populations associated with the generation and treatment of acid mine drainage. *Chemical Geology*, 169: 435-448.
 Bigham, J., Nordstrom, D. (2000): Iron and aluminum hydroxy-sulfates from acid sulfate waters. In: C. Alpers, J. Jambor,

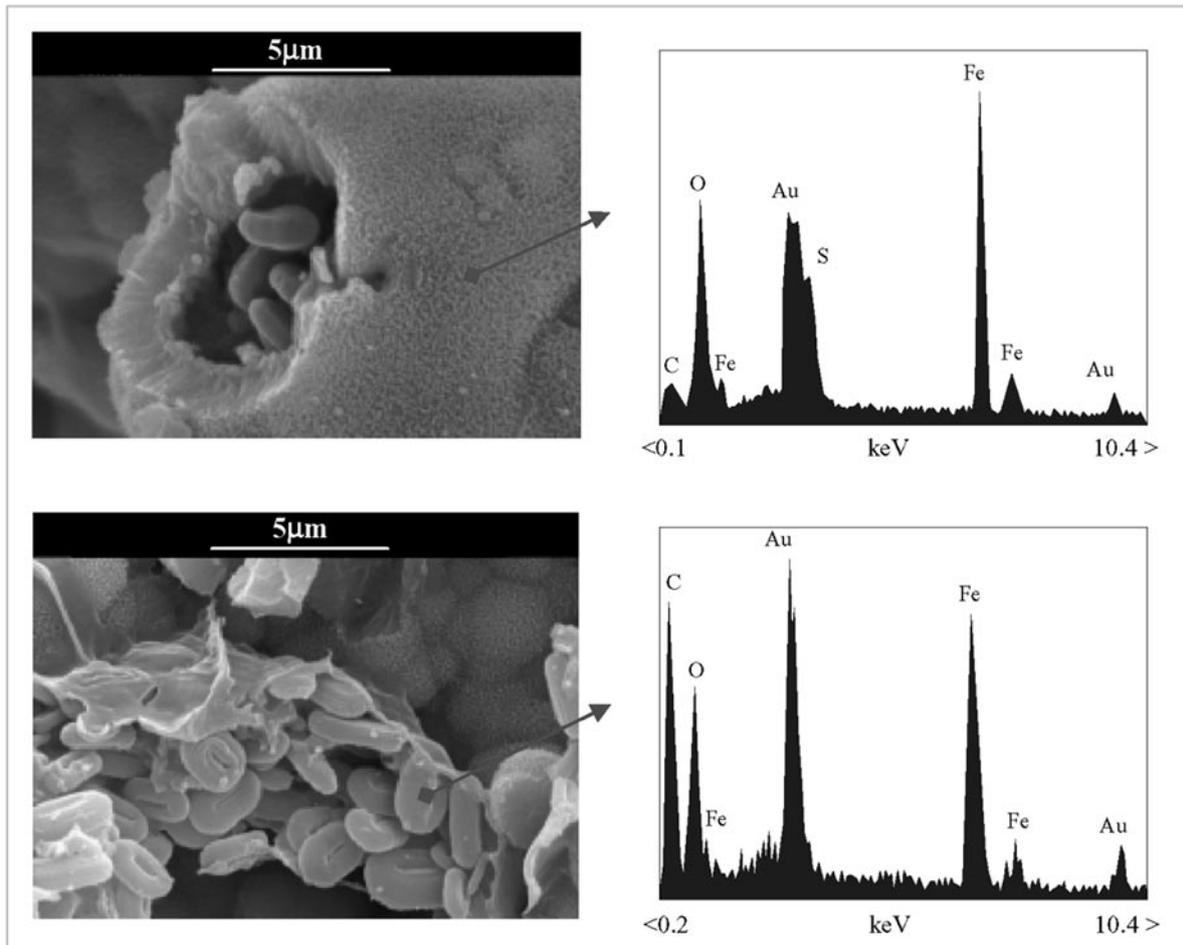


Fig. 8.- SEM (ES) micrographs and EDS analysis showing the relation between Euglenophyta and schwertmannite. The schwertmannite spheres occur with its typical “pin-cushion” morphology; inside the mineral spheres there are abundant paramylon grains.

Fig. 8.- Fotografías con microscopio electrónico de barrido (SEM) y análisis dispersivo (EDS) mostrando la relación entre las Euglenophyta y schwertmannite. Las esferas de schwertmannite aparecen con su típica morfología de “pin cushion”; en el interior de las esferas del mineral aparecen abundantes granos de paramylon.

- D. Nordstrom (eds.): *Sulfate minerals: Crystallography, geochemistry and environmental significance*. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 40, Mineralogical Society of America, Washington, DC: 351-403.
- Bond, P., Greg, K. (2000): Comparison of acid mine drainage microbial communities in physically and geochemically distinct environments. *Applied Environmental Microbiology*, 66: 4962-4971.
- Brake, S., Dannelly, H., Connors, K. (2001a): Controls on the nature and distribution of an alga in coal mine-waste environments and its potential impact on water quality. *Environmental Geology*, 40: 458-469.
- Brake, S., Dannelly, H., Connors, K., Hasiotis, S. (2001b): Influence of water chemistry on the distribution of an acidophilic protozoan in an acid mine drainage system at the abandoned Green Valley coal mine, Indiana, USA. *Applied Geochemistry*, 16: 1641-1652.
- Brake, S., Hasiotis, S., Dannelly, H., Connors, K. (2002): Eukaryotic stromatolite builders in acid mine drainage: Implications for Precambrian iron formations and oxygenation of the atmosphere?, *Geology*, 30: 599-602.
- Casiot, C., Bruneel, O., Personné, J., Leblanc, M., Elbaz-Poulichet, F. (2004): Arsenic oxidation and bioaccumulation by acidophilic protozoan *Euglena mutabilis*, in acid mine drainage (Carnoulès, France). *Science of Total Environment*, 320: 259-267.
- Ehrlich, H. (1996): *Geomicrobiology*. Marcel Dekker, New York.
- Elbaz-Poulichet, F., Dupuy, C., Cruzado, A., Velasquez, Z., Achterberg, E., Braungardt, B. (2000): Influence of sorption processes by iron oxides and algae fixation on arsenic and phosphate cycle in an acidic estuary (Tinto River, Spain). *Water Research*, 34: 3222-3230.
- Evangelou, V., Zhang, Y. (1995): A review: Pyrite oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention. *Critical Reviews Environmental Science & Technology*, 25: 141-199.
- Fogg, G. (2001): Algal adaptations to stress – some general remarks. In: L.C. Rai, J.P. Gaur (eds.): *Algal adaptation to environmental stresses – physiological, biochemical and molecular mechanisms*. Springer, Berlin: 1-19.
- Fyson, A. (2000): Angiosperms in acidic waters at pH 3 and below. *Hydrobiologia*, 433: 129-135. Gaur, J., Rai, L. (2001): Heavy metal tolerance in algae. In: L.C. Rai, J.P. Gaur (eds.): *Algal adaptation to environmental stresses – physiological, biochemical and molecular mechanisms*. Springer, Berlin: 363-388.
- Gimmler, H. (2001): Acidophilic and acidotolerant algae. In: L.C. Rai, J.P. Gaur (eds.): *Algal adaptation to environmental stresses – physiological, biochemical and molecular mechanisms*. Springer, Berlin: 259-290.
- Gross, W. (2000): Ecophysiology of algae living in highly acidic environments. *Hydrobiologia*, 433: 31-37.
- Hargreaves, J., Lloyd, J., Whitton, B. (1975): Chemistry and vegetation of highly acidic streams. *Freshwater Biology*, 5: 563-576.
- Johnson, B., Dziurla, M., Kolmert, A., Hallberg, K. (2002): The microbiology of acid mine drainage: Genesis and biotreatment. *South African Journal of Science*, 67: 249-255.
- Lawrence, J., Swerhone, G., Kwong, Y. (1998): Natural attenuation of aqueous metal contamination by an algal mat. *Canadian Journal of Microbiology*, 44: 825-832.
- Lessmann, D., Deneke, R., Ender, R., Hemm, M., Kapfer, M., Hartwing, K., Wollmann, K., Nixdorf, B. (1999): Lake Plessa 107 (Lusatia, Germany) – an extremely acidic shallow mining lake. *Hydrobiologia*, 408/409: 293-299.
- Lukesová, A. (2001): Soil algae in brown coal and lignite post-mining areas in Central Europe (Czech Republic and Germany). *Restoration Ecology*, 9: 341-350.
- Mann, H., Tazaky, K., Fyfe, W., Beveridge, T., Humphrey, R. (1987): Cellular lepidocrocite precipitation and heavy metal sorption in *Euglena* sp. (unicellular alga): implications for biomineralization. *Chemical Geology*, 63: 39-43.
- Murad, E., Rojík, P. (2003): Iron-rich precipitates in a mine drainage environment: Influence of pH on mineralogy. *American Mineralogist*, 88: 1915-1918.
- Nixdorf, B., Fyson, A., Krumbeck, H. (2001): Review: plant life in extremely acidic waters. *Environmental and Experimental Botany*, 46: 203-211.
- Niyogi, D., Lewis, W., McKnight, D. (2002): Effects of stress from mine drainage on diversity, biomass, and function of primary producers in mountain streams. *Ecosystems*, 5: 554-567.
- Olaveson, M., Nalewajko, C. (2000): Effects of acidity on the growth of two *Euglena* species. *Hydrobiologia*, 433: 39-56.
- Robbins, E. (2000): Bacteria and Archaea in acidic environments and a key to morphological identification. *Hydrobiologia*, 433: 61-89.
- Round, F. (1975): *The biology of the algae*. Edward Arnold Ltd., London.
- Sabater, S., Buchaca, T., Cambra, J., Catalan, J., Guasch, H., Ivorra, N., Romani, A. (2003): Structure and function of benthic algal communities in an extremely acid river. *Journal of Phycology*, 39: 481-489.
- Stevens, A., McCarthy, A., Vis, M. (2001): Metal content of *Klebsormidium*-dominated (Chlorophyta) algal mats from acid mine drainage waters in southeastern Ohio. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 128: 226-233.
- Valente, T. (2002): Estado da reabilitação ambiental em sítios mineiros abandonados no Minho – Análise de casos e avaliação de procedimentos. *Geonovas*, 16: 67-77.
- Valente, T. (2004): Modelos de caracterização de impacte ambiental para escombrelas reactivas – equilíbrio e evolução de resíduos de actividade extractiva. *Ph.D. Thesis, Univ. Minho*, Portugal: 301 p.
- Verb, R., Vis, M. (2001): Macroalgal communities from acid mine drainage impacted watershed. *Aquatic Botany*, 71: 93-107.
- Whitton, B. (1984): Algae as monitors of heavy metals in freshwaters. In: L.E. Shubert (ed.): *Algae as ecological indicators*. Academic Press, New York: 257-280.

1.2. Caracterização e evolução do relevo do Norte de Portugal

Diamantino Pereira

Resumo

O Norte de Portugal estrutura-se no Maciço Ibérico, uma unidade morfo-tectónica da Península Ibérica caracterizada por rochas metassedimentares proterozóicas e paleozóicas e abundantes granitóides afectados pela deformação varisca e alpina. O Maciço Ibérico ocupa o sector centro-ocidental da Península Ibérica, constituindo o seu núcleo mais antigo e rígido. Desde a orogenia varisca tem sofrido erosão, gerando, em sectores como o NE de Portugal, um relevo pouco acentuado, designada por Meseta. A denudação envolveu uma sucessão de ciclos de erosão e meteorização, que deram origem a superfícies de aplanamento e níveis embutidos. Devido às diferenças de resistência à meteorização e erosão do soco varisco, desenvolveu-se no MI um relevo de tipo apalachiano, caracterizado por cristas quartzíticas com orientação NW-SE, que se destacam das amplas superfícies desenvolvidas em granitóides, xistos e metagrauvaques.

Durante o Cenozóico desenvolveram-se sobre o Maciço Ibérico drenagens fluviais, quer para ocidente quer para oriente (Bacia do Douro) e das quais é possível observar testemunhos que permitem a reconstituição da evolução dos modelos aluviais. Em alguns momentos observaram-se significativas mudanças paleogeográficas devido a importantes soerguimentos tectónicos em sectores específicos, como na Cordilheira Central e nas Montanhas Ocidentais, bem como ao longo dos desligamentos tectónicos NNE-SSW de Vêrin-Penacova e Bragança-Vilariça-Manteigas.

No Plistocénico, a rede hidrográfica desenvolveu um progressivo encaixe, particularmente profundo no vale do Douro. Durante esta etapa de incisão a evolução dos vales fluviais foi controlada pelos factores litológicos, eustáticos, climáticos e tectónicos.

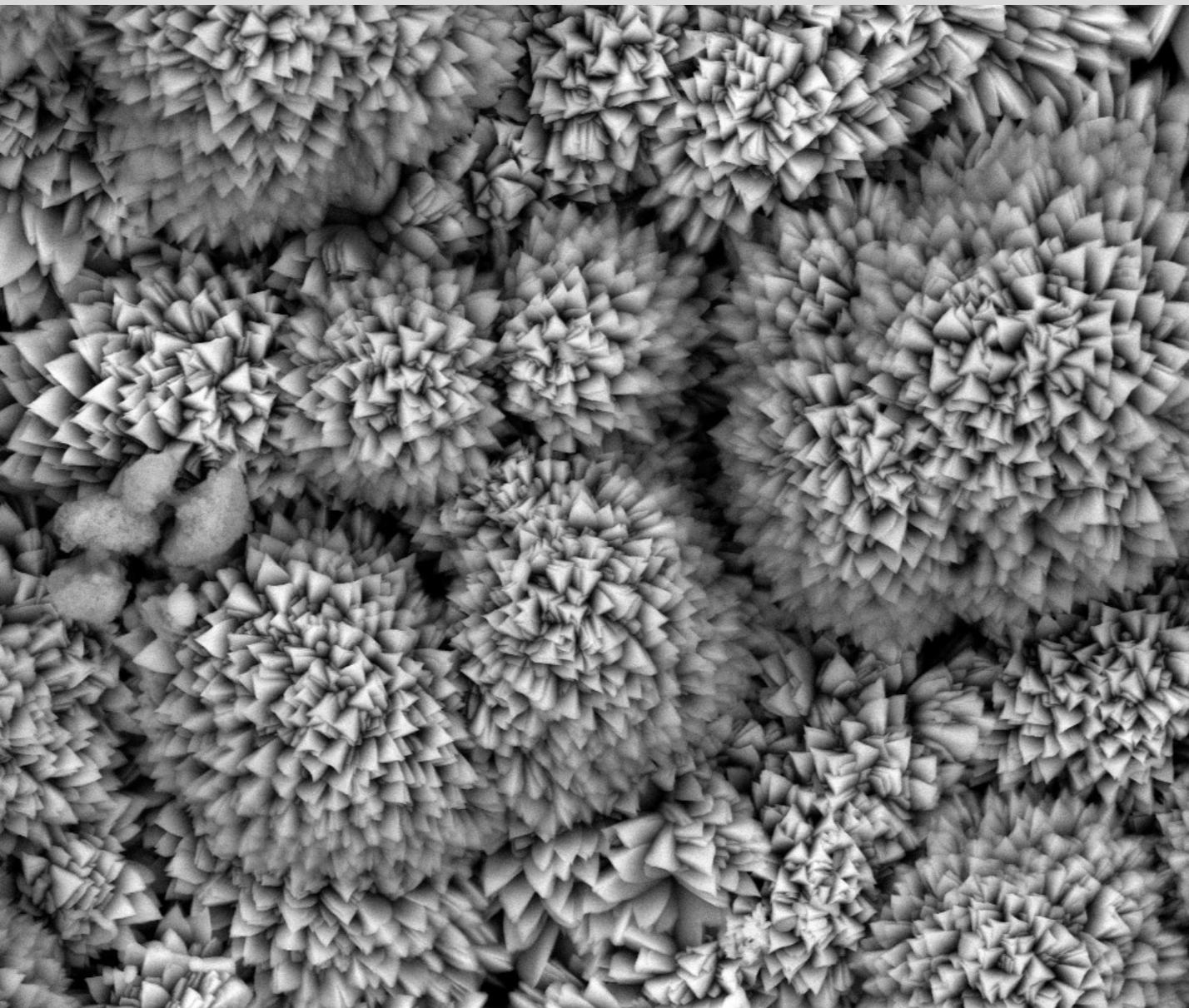
Bibliografia fornecida

Pereira, D. (2010) – Características da evolução do relevo e drenagem do norte de Portugal. In J.M. Cotelos Neiva, A. Ribeiro, L. Mendes Victor, F. Noronha, M. Magalhães Ramalho (Edts.). Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História. Associação Portuguesa de Geólogos, Volume I, 491-500.

Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História

Volume I

Geologia Clássica



Publicação Comemorativa do "ANO INTERNACIONAL DO PLANETA TERRA"

Associação Portuguesa de Geólogos
Sociedade Geológica de Portugal

J.M. Cotelo Neiva, António Ribeiro, Mendes Victor, Fernando Noronha, Magalhães Ramalho

CARACTERÍSTICAS E EVOLUÇÃO DO RELEVO E DA DRENAGEM NO NORTE DE PORTUGAL

LANDSCAPE AND DRAINAGE EVOLUTION IN NORTHERN PORTUGAL

Diamantino Ínsua Pereira¹

RESUMO

A drenagem do norte de Portugal tem evoluído em contínua adaptação ao levantamento tectónico cenozóico do NW do Maciço Ibérico. O eixo montanhoso da Cordilheira Cantábrica e prolongamentos para SW até às Serras da Peneda e Gerês e, mais para sul, ao longo do acidente tectónico Verin-Penacova, até à Serra de Montemuro, constituiu um importante fronteira entre o sector nor-ocidental que manteve a rede atlântica e o interior norte de Portugal que sofreu uma profunda reorganização da drenagem. As pequenas bacias hidrográficas minhotas, no sector ocidental, têm características morfológicas e sedimentares bem diferentes da Bacia do Douro, com vales largos e um registo geológico que tem sido referido como pliocénico e quaternário. Contudo, admite-se a conservação de pontuais registos sedimentares mais antigos em depressões tectónicas. A drenagem do sector situado entre os acidentes tectónicos de Verin-Penacova e Bragança-Vilariça-Manteigas adaptou-se ao escalonamento de blocos tectónicos e às diversas bacias de desligamento associadas aos acidentes tectónicos. No sector mais oriental evidencia-se uma drenagem que durante grande parte do Cenozóico terá sido endorreica e que, pelo menos em alguns momentos, terá contribuído para o enchimento da Bacia Terciária do Douro. As características geomorfológicas, tectónicas e sedimentares da bacia do Douro sugerem um processo de captura progressiva das áreas central e oriental a partir de um pré-Douro limitado à fachada atlântica e que terá alcançado o sector espanhol através do vale encaixado do Douro internacional.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem, relevo, Douro, bacia tectónica, sedimentos.

ABSTRACT

Drainage in northern Portugal has been developing in a continuous adaptation to the cenozoic tectonic uplift of the NW Iberian Massif. The Cantabrian Range and its continuity towards southwest until the Peneda-Gerês Mountain and towards south along the Verin-Penacova fault zone until Montemuro Mountain constitute an important border between northwestern and eastern regions. Wide valleys and a sedimentological record that has been indicated as Pliocene and Quaternary characterize the small hydrographical basins of the western Minho region, although some sediments should be older. To the east, small tectonic basins, mainly pull-apart basins, and push-up elevated blocks associated with the Verin-Penacova and Bragança-Vilariça-Manteigas fault zones have controlled the drainage evolution. The region to the east of the Bragança-Vilariça-Manteigas fault zone suffered a large draining reorganization. The sedimentary record indicates that, during the Miocene, this was a proximal sector of the Douro Cenozoic Basin in Spain. Young and deep valleys promote the capture of the previous endorreic drainage towards the Atlantic. Geomorphological, tectonic and sedimentary characteristics of the Douro basin suggest a process of gradual capture of the central and eastern areas from a previous Douro river limited to the Atlantic façade that reached the Spanish sector through the canyon in the Douro international border.

KEY-WORDS: Drainage, relief, Douro, tectonic basin, sediments.

¹ Centro de Geologia da Universidade do Porto; Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho; insuad@uct.uminho.pt

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho faz-se uma síntese das principais características geomorfológicas e sedimentológicas disponíveis na bacia do Douro e nas bacias situadas a norte, de forma a identificar e discutir as principais etapas evolutivas e os factores intervenientes na evolução do relevo e da drenagem.

Nesta região efectuaram-se diversos trabalhos de investigação dedicados a temas como a neotectónica (Ferreira, 1991; Cabral, 1995; Batista, 1998), à sedimentologia e estratigrafia dos depósitos cenozóicos (Braga, 1988; Alves, 1995; Pereira, 1989; 1991; 1997; 1998; 1999a; Pereira & Azevedo, 1991; 1993a; Alves & Pereira, 2000; Cunha & Pereira, 2000), à caracterização geomorfológica de sectores específicos (Ferreira, 1978; Pereira & Azevedo, 1993b; 1995; Pereira, 1999b; 2003; Gomes, 2005; Pereira, 2006), à evolução cenozóica do sector costeiro (Araújo, 1991), bem como algumas sínteses regionais da evolução terciária (Pereira *et al.*, 2000; Pereira, 2004, 2006) e Quaternária (Ferreira, 1983). Foi reconhecida em algumas destas abordagens a necessidade de efectuar trabalhos de maior detalhe, que permitem desenhar um modelo de evolução regional e compreender as sucessivas etapas da captura da drenagem endorreica pela rede de drenagem Atlântica e da evolução da bacia do Douro.

Para a descrição e compreensão das formas do relevo e da evolução da rede de drenagem no norte de Portugal sugerimos, como elemento de referência, a superfície fundamental de aplanamento (Martin-Serrano, 1988; 2004). Esta superfície, que na bordadura ocidental da Bacia Terciária do Douro (BTD) se desenvolve em torno dos 800 metros de altitude, resulta de um processo de erosão do Maciço Ibérico (MI) e colmatação da BTD durante o terciário. Assim, o relevo do norte de Portugal deve ser observado no âmbito das características e evolução do MI no NW Peninsular, onde se destaca a elevação montanhosa de eixo curvo e transversal relativamente à estrutura regional varisca que separa o domínio geomorfológico atlântico (norte e oeste) do domínio da BTD e Meseta Norte (Martin-Serrano, 1994) (Fig. 1). Este eixo montanhoso é constituído pela Cordilheira Cantábrica, de rumo E-W, pelas montanhas Galaico-Leonesas e sua continuação para Gamoneda-Montesinho na região de Trás-os-Montes, prolongando-se para ocidente até à Peneda-Gerês. O levantamento destes relevos tem sido associado à subducção da placa Europeia sob a Ibéria (Santanach, 1994; Andeweg, 2002). Um pouco mais a sul, a barreira montanhosa entre o fachada atlântica e o domínio do Douro é efectuada pelo eixo Alvão-Marão-Montemuro, de orientação NNE-SSW. O Douro cruza esta barreira montanhosa após vencer um outro relevo significativo, as cristas quartzíticas da antiforma de Valongo. Estes relevos residuais constituem também um condicionamento à evolução da rede de drenagem, nomeadamente as cristas do Marão, S. Comba (Mirandela), Murça-Vila Flor, Mogadouro, Reboredo (Torre de Moncorvo) e Marofa (Figueira de Castelo Rodrigo).

As depressões tectónicas revelam-se também importantes formas do relevo regional, com maior expressão no Bierzo, no interior da Galiza e no norte de Portugal. No norte de Portugal as pequenas depressões tectónicas relacionam-se com dois acidentes tectónicos principais - Verin-Penacova (ATVP) e Bragança-Vilariça-Manteigas (ATBVM) (Fig. 1). Outros acidentes, como os de Pondevedra-Valença (ATPV) e de Mirandela têm menor expressão no relevo actual do norte de Portugal, mas a observação, em Valença e em Mirandela, de falhas inversas que colocam o soco sobre sedimentos cenozóicos traduz a importância destes acidentes num passado recente (Pereira, 1991; 1997). O movimento ao longo destes acidentes gerou escarpas tectónicas que limitam algumas depressões e pequenas serras. É a leste do ATBVM que a superfície fundamental de aplanamento tem maior expressão, em especial no sector do Douro fronteiro e na Beira interior.

Para a compreensão na evolução da rede de drenagem é importante atender à cronologia das etapas de levantamento destes relevos. Para a Cordilheira Cantábrica é indicada a sucessão de etapas de levantamento até ao fim do Neogénico, sendo a mais antiga paleogénica, datação dos mais antigos registos sedimentares correlativos, como no Bierzo e na BTD (Martin-Serrano, 1994).

O movimento ao longo dos acidentes tectónicos de orientação NNE-SSW tem sido particularmente relacionado com um eixo de compressão máxima NW-SE com auge no Miocénico superior (Cabral, 1995; Batista, 1998; Cunha *et al.*, 2000a; 2000b), embora sejam indicados episódios anteriores de actividade tectónica (Santanach, 1994; Andweg, 2002; Vicente, 2007). Esta compressão resultou nos desligamentos esquerdos e relevos do tipo *push-up* associados aos ATVP e ATBVM (Cabral, 1995), respectivamente Alvão-Marão-Montemuro-Gralheira e Nogueira-Bornes, bem como no principal evento de levantamento da Cordilheira Central e consequente movimento inverso nas falhas de orientação NE-SW (Cunha *et al.*, 2000a; 2000b).

A rede de drenagem no norte de Portugal deverá ter evoluído em concordância com a evolução das principais estruturas e formas do relevo referidas anteriormente e com a presença do Atlântico a oeste.

Para a evolução da rede drenagem deverá ter contribuído também a herança varisca que impôs algum condicionamento na captura do sector interior, com destaque para os contrastes entre os maciços graníticos, os relevos diferenciais quartzíticos e as unidades xisto-grauváquicas, bem como pela influência da rede de fracturas tardi-variscas no entalhe dos cursos fluviais (Pereira, 1997).

A evolução do relevo e da rede de drenagem no norte de Portugal conduziu à diferenciação de três sectores que se caracterizam em seguida com vista à melhor compreensão da evolução regional.

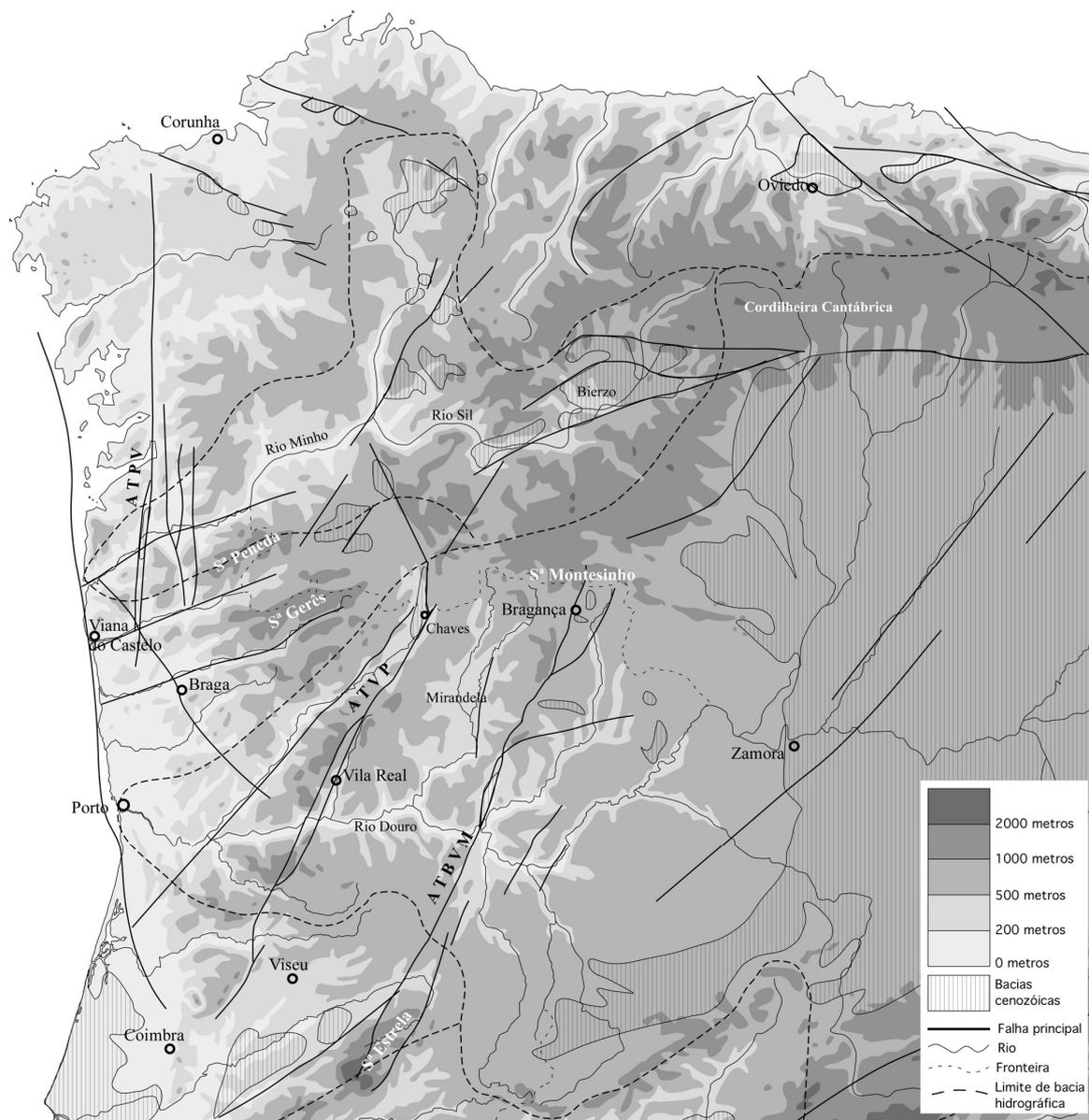


Figura 1: As grandes linhas do relevo, da tectónica e da drenagem no NW da Península Ibérica

2. A DRENAGEM NA ORLA ATLÂNTICA

A orla atlântica, apresenta características diferentes a norte (Minho), entre o Minho e o Ave, e a sul (Douro Litoral) nas proximidades do Douro. No Minho e em especial a norte do Cávado, os interflúvios constituem relevos de várias centenas de metros de altitude, trabalhados por uma prolongada erosão e recuo das vertentes, mas onde, ocasionalmente, subsistem restos de uma superfície aplanada. O relevo da Serra de Arga, situado no interflúvio Minho-Lima, mantém um topo aplanado a cerca de 800 metros e o seu flanco ocidental corresponde a uma escarpa no limite com o ATPV, que na Galiza limita as rias e que vai perder expressão geomorfológica a sul da depressão de Bertandos, na margem direita do Lima (Fig. 2).

No Minho os vales fluviais são abertos e com orientação geral ENE-WSW, resultantes de uma longa acção erosiva associada aos rios Minho, Lima, Cávado e Ave que promoveu uma acentuada fragmentação do relevo até ao limite das montanhas ocidentais, a cerca de 60 kms da costa. Os rios alargaram os seus vales a partir de um encaixe em importantes fracturas, tendo capturado algumas depressões tectónicas. A título de exemplo, o Cávado atravessa depressões de orientação ENE-WSW, como as de Amares (Marques *et al.*, 2001) e Prado (Braga, 1988) e o Minho encaixa nas depressões de rumo submeridiano de Monção e Tui-Valença (Pereira, 1989; 1991). Variados alvéolos de erosão foram esvaziados pela penetração para o interior, através dos cursos fluviais, de corredores de erosão, com prolongamento para o interior da superfície bem representada no litoral e expressa no fundo aplanado desses vales largos e profundos (Ferreira, 1983; Cabral, 1992).



Figura 2: O relevo, a tectónica e a drenagem no norte de Portugal, com destaque para os acidentes tectónicos Verín-Penacova (ATVP) e Bragança-Vilarica-Manteigas (ATBVM), as cristas quartzíticas, as superfícies aplanadas e o encaixe da rede fluvial.

Na depressão de Prado (rio Cávado) há a registar a presença de uma unidade inferior constituída por argilas negras com esporos frequentes em unidades do Cretácico, conteúdo muito distinto da unidade subjacente (Formação Prado), com uma associação polínica indicadora do Pliocénico ou do Quaternário (Poças, 2004). A *Formação Prado*, bem como unidades equivalentes conservadas nas depressões tectónicas de Tui-Valença (rio Minho) (Pereira, 1989; 1991) e num paleovale abandonado de Alvarães, nas proximidades de Viana do Castelo (Alves, 1995), têm vindo a ser apontados como plasencianos com base em macrorrestos vegetais (Teixeira *et al.*, 1969; Teixeira e Gonçalves, 1980; Ribeiro *et al.*, 1943; Teixeira e Pais, 1976). Estudos palinológicos mais recentes confirmam uma idade plasenciana, ou até um pouco

anterior para a ocorrência de S. Pedro da Torre (Valença) (Vieira, 2008). Esses sedimentos, clásticos, siliciosos e com matriz predominantemente caulínica, foram depositados em condições prevalecentes de baixa energia durante o processo de drenagem para o Atlântico, com representação de espessos níveis lutíticos (Fm, Fl, Fr) intercalados com arenitos (Sp, Sh) e escassos níveis conglomeráticos (Gp, Gt). A revitalização da drenagem está documentada pela sobreposição de várias sequências positivas de conglomerados (Gt, Gp, Gh), arenitos (St, Sp) e lutitos (Fm, Fl, Fr) (Pereira & Alves, 2004). No Rio Minho, os clastos dos leitos conglomeráticos destas unidades revelam uma origem longínqua, nas unidades metassedimentares paleozóicas do interior da bacia do Minho-Sil. A mesma origem longínqua é revelada pelo *Conglomerado de Cortes*, uma ocorrência singular de uma sequência areno-conglomerática fortemente silicificada e limitada por falhas, aflorante sob um nível de terraço nas proximidades de Monção (Pereira, 1997). Em Alvarães e no Cávado as características sedimentológicas evidenciam uma alimentação confinada às proximidades da orla atlântica.

Para além do registo sedimentar referido, os terraços preservados nos vales dos principais rios do Minho, tradicionalmente vistos como registos quaternários do processo de evolução fluvial, evidenciam a sucessão de quatro ciclos maiores de encaixe fluvial e aluvionamento, o último dos quais está relacionado com o último período glaciário (Alves & Pereira, 2000).

A sul da foz do rio Minho desenvolve-se um plataforma litoral com cerca de 2.5 kms de largura até ao rio Lima e com cerca de 5 kms entre o Lima e o Cávado. Esta plataforma litoral é limitada no interior por uma arribada de origem tectónica com vestígios de modelação marinha. No sector do Douro Litoral esta plataforma é mais larga e um pouco mais elevada, entre os 60 e os 100 metros de altitude, e está limitada pelo flanco ocidental da estrutura da Antiforma de Valongo. Sobre esta plataforma, para além de depósitos marinhos limitados à faixa mais próxima do oceano, dispõem-se depósitos continentais para os quais se admitem duas gerações (Araújo, 1991). O episódio mais antigo, de idade provável plasenciana, tem carácter caulínico e está documentado pelo predomínio de lutitos denunciando condições de baixa energia, aos quais se segue um episódio de canalização dos fluxos, com deposição de arenitos e conglomerados, com encouraçamento ferruginoso no topo. Para o interior, as fácies proximais, de natureza conglomerática, situam-se nas proximidades dos relevos quartzíticos, nomeadamente os depósitos de Medas. O episódio posterior, provavelmente do Gelasiano - caracteriza-se pelo carácter grosseiro dos sedimentos depositados em condições torrenciais que se encaixam na plataforma anterior (Araújo, 1991; Araújo, 2004; Pereira *et al.*, 2000; Araújo *et al.*, 2003).

Assim, enquanto que a norte, entre os rios Minho e Ave, a plataforma litoral tem continuidade para o interior dos vales, de fundo largo e aplanado, até ao encontro das montanhas ocidentais a cerca de 45 km do litoral, a sul, o relevo da Antiforma de Valongo limita a cerca de 15 km a extensão da orla atlântica, aqui quase coincidente com a plataforma litoral. O vale do Douro revela um carácter encaixado quase desde a sua foz, aspecto que, como os anteriores são claramente expressos por Ferreira (1983; 2004).

As montanhas ocidentais estabelecem uma sólida fronteira entre a orla atlântica do Minho e o interior. Os rios Douro, Tâmega e Paiva cortam e individualizam os conjuntos montanhosos do Gerês-Larouco-Cabreira, Marão-Alvão e Montemuro-Gralheira. Embutida nas superfícies culminantes do Larouco (1527m) e do Barroso (1279m), define-se a superfície do Alto Rabagão (850-950 metros), onde os vales abertos do Alto Cávado e do Rabagão sugerem anterioridade relativamente ao levantamento tectónico deste sector. A superfície do Alto Rabagão está relacionada com outros retalhos bem conservados da superfície fundamental de aplanamento situados a leste e a sul. Poderá pois admitir-se um levantamento de cerca de 500 metros deste sector, anterior à etapa principal de aplanamento da Meseta. A sul do rio Tâmega estruturam-se a Serra do Alvão (1330m), onde estão preservados dois níveis de aplanamento, supondo-se que o mais elevado possa corresponder à superfície fundamental levantada na sequência dos movimentos tectónicos associados ao ATVP, e a Serra do Marão (1416m), com as cristas quartzíticas surgindo acima da anterior.

3. O SECTOR CENTRAL

A leste das montanhas ocidentais toma expressão o ATVP, com uma orientação geral NNE-SSW, ao qual estão associadas, a norte, as depressões de Chaves, a mais expressiva, de Vidago, Pedras Salgadas, Telões e Vila Real (Feio, 1951), referidas como bacias de desligamento associadas a uma componente horizontal de movimentação naquela estrutura (Cabral, 1995; Pereira, 2006). A oeste de Chaves definem-se vários patamares escalonados entre a superfície culminante da Serra do Larouco e a base da depressão

de Chaves. A leste, a passagem da base da depressão de Chaves para a superfície da Padrela é feita por uma escarpa de falha com cerca de 450 metros de desnível (Ferreira, 1986). A sul de Chaves, as depressões de Vidago e Pedras Salgadas são bastantes mais estreitas. A depressão de Telões situa-se a sul da portela de Vila Pouca de Aguiar e está limitada por escarpas que a confrontam com as Serras da Falperra e do Alvão. Mais a sul, a depressão de Vila Real revela um maior alargamento relativamente às depressões anteriores, eventualmente devido à ramificação para sul do acidente em dois segmentos principais, um nas proximidades da Régua e o outro nas proximidades de Mesão Frio (Cabral, 1995).

A bacia de Chaves, com continuidade para Verín, a norte, tem um extensão de cerca de 50 kms e uma largura até 10 kms. Está preenchida por uma espessura de várias centenas de metros de sedimentos, 200 metros confirmados por sondagem mecânica e 450 metros ou mesmo 1600 metros de acordo com interpretação geofísica (Baptista, 1998). A idade precisa destes sedimentos é desconhecida, mas a comparação com os sedimentos que ocorrem nas depressões situadas a leste e a norte, a idade estimada das falhas e a frescura das escarpas, sugerem a presença de sedimentos entre o Miocénico Superior e o Quaternário. Contudo, na base podem estar presentes sedimentos mais antigos, pois de acordo com Baptista (1998) foi determinado um eixo da tensão principal compressiva máxima orientada N-S a NNE-SSW e ENE-WSW, que data, provavelmente, do Miocénico inferior ou do Eocénico médio a Oligocénico. Na bacia de Chaves afloram conglomerados com clastos essencialmente de quartzo e quartzito com rolamento variável e espessos níveis areno-lutíticos, feldspáticos na fracção arenosa e com mistura de esmectite, caulinite e ílite na fracção argilosa. As características sedimentológicas sugerem a sobreposição de fluxos com origem nas escarpas a uma drenagem canalizada e longitudinal relativamente à depressão, expressa pela natureza e forma dos clastos e a extensão dos níveis areno-argilosos. Este sistema aluvial ter-se-á desenvolvido em condições endorreicas. Também o modelo de drenagem destas depressões revela a instalação relativamente recente das linhas de água bem como da captura da bacia de Chaves pelo Tâmega por erosão regressiva (Ferreira, 2004).

A leste do ATVP elevam-se as superfícies da Serra da Padrela, (1100 metros) e da Padrela (900 metros), a partir das quais se escalonam diversos níveis embutidos até à depressão de Mirandela, a cerca de 250 metros de altitude. Os níveis aplanados mais regulares, entre os 700 e os 800 metros, situam-se nas regiões de Carrazedo de Montenegro, Sabrosa, Alijó e Carrazedo de Ansiães, a norte do Douro, Tabuaço e S. João da Pesqueira, a sul. O escalonamento das superfícies em diversos níveis e a incisão profunda dos cursos fluviais é a característica mais marcada deste sector.

Na base da depressão de Mirandela conservam-se depósitos sedimentares descritos em duas unidades litostratigráficas – *Formação Bragança* e *Formação Mirandela* (Pereira, 1997; 1999). A *Formação Bragança* está representada por níveis predominantemente lutíticos na base e areno-conglomeráticos canalizados em fluxos aquosos no topo, de cor vermelha e carácter polimítico e subrolado dos clastos e esmectítico das argilas (Pereira, 1997, 1999b). As características sugerem a concentração numa bacia confinada de um sistema fluvial entrançado, provavelmente em sector distal de leques aluviais. A observação de uma falha inversa que coloca o substrato sobre os sedimentos desta unidade, confirma a natureza tectónica desta depressão. A *Formação Mirandela* caracteriza-se por uma sucessão de níveis conglomeráticos, de matriz arenosa e clastos quartzosos medianamente rolados, intercalados por raros níveis arenosos e argilosos, com largo domínio de caulinite. Os fluxos fortemente canalizados e de elevada energia e as condições de lixiviação indicadas pelas argilas, sugerem condições de abertura da depressão a uma drenagem exorreica, por erosão remontante promovida por um Douro primitivo que terá vencido as montanhas ocidentais e o relevo residual quartzítico Murça-Vila Flor, que bordeja a sul a depressão de Mirandela.

O sector central está limitado a leste pelos relevos associados ao ATBVM, nomeadamente os *push-up* da Nogueira e de Bornes e as diversas depressões tectónicas que se referem em seguida.

As depressões de Baçal, Bragança, Sortes, Podence, Macedo de Cavaleiros, de forma alongada segundo N-S a NNE-SSW ou NE-SW (Macedo de Cavaleiros) conservam um registo sedimentar que se admite ser essencialmente do Miocénico. Estes sedimentos da Formação Bragança correspondem a fácies proximais de um sistema fluvial entrançado, depositadas nas depressões tectónicas e que tem equivalentes mais distais no sector oriental.

A *Formação Vale Álvaro*, antes apontada como provavelmente paleogénica, ocorre na cidade de Bragança com características sedimentológicas muito específicas derivadas da sua alimentação integral nas rochas máficas e ultra-máficas do Maciço de Bragança, que evidenciam claramente a existência de um leque aluvial na base de escarpa tectónica associada ao ATBVM (Pereira, 1997; 1999). Novos dados de

natureza palinológica permitem considerar a *Formação Vale Álvaro* como provavelmente do Pliocénico e não anterior ao Miocénico superior (Poças *et al.*, 2003; Poças, 2004).

As depressões da Vilaríça e da Longroiva, limitadas por escarpas tectónicas nítidas, estão associadas ao ATBVM e situam-se respectivamente a norte e a sul do Douro. Estas depressões conservam na base depósitos conglomeráticos e areníticos arcósicos - *Arcoses da Vilaríça e da Longroiva*, com características semelhantes às *Arcoses de Nave de Haver* e às *Arcoses de Cója*, pelo que se admite uma idade entre o Eocénico e o Oligocénico (Pereira, 1997; Cunha & Pereira, 2000). As *Arcoses da Vilaríça e da Longroiva* ficaram conservadas na base das depressões, contactando, por falhas inversas, com o soco varisco (Ferreira, 1978; Cabral, 1995; Cunha & Pereira, 2000). Na depressão da Vilaríça, a *Formação Sampaio* é constituída por sedimentos muito imaturos com origem em leques aluviais dispostos transversalmente à depressão (Pereira, 1997). Estes sedimentos são de difícil enquadramento estratigráfico mas admite-se que possam ser pliocénicos em resposta a importantes impulsos tectónicos, com sedimentação no amplo vale tectónico de fundo aplanado.

Os terraços do Pocinho e da Quinta de Vale Meão constituem ocorrências raras de terraços do Douro e estão associados ao apertado meandro da falha da Vilaríça.

4. O SECTOR ORIENTAL

A leste do ATBVM desenvolve-se com melhor expressão a superfície de aplanamento da Meseta Norte Ibérica, da qual emergem, pontualmente, alguns relevos residuais como a Serra das Barreiras Brancas (Rio de Onor), a Serra de Mourigo (Vimioso), a Serra de Reboredo (Torre de Moncorvo) e a Serra da Marofa (Figueira de Castelo Rodrigo). Neste sector a superfície de aplanamento desenvolve-se entre os 750 e os 850 metros, sobre o substrato e sobre os sedimentos das *Arcoses de Nave de Haver* e da *Formação Bragança*. Os sedimentos paleogénicos de Nave de Haver relacionam-se com uma vasta drenagem fluvial deficiente e instalada sobre uma superfície de fraco declive (Cunha & Pereira, 2000). A *Formação Bragança* (Miocénico a Pliocénico inferior), constituída, na base, por sequências predominantemente conglomeráticas (Gh, Gt, Gp), e no topo por espessos níveis argilosos (Fl, Fm), esmectíticos e com cimentações carbonatadas freáticas, preenche paleovales fluviais incisos no substrato varisco (Pereira, 1997; 1999b). A *Formação Bragança* é aqui representativa de um sistema fluvial entrançado de baixa sinuosidade e tem ligação com as fácies mais proximais situadas no contexto do ATBVM. No planalto mirandês foram evidenciados movimentos verticais em blocos tectónicos que deslocam em cerca de 100 metros os paleovales (Pereira, 1997). Enquanto a oeste são diferenciados dois membros na *Formação Bragança*, correspondentes a respostas sedimentares a dois episódios tectónicos, a leste o membro superior está ausente ou tem pouca expressão.

À paleodrenagem representada pelas *Arcoses de Nave de Haver* e pela *Formação Bragança* sucedeu, após um período de maior desenvolvimento da superfície fundamental, a drenagem atlântica. A norte do Douro o Sabor e os seus afluentes penetraram e erodiram profundamente a superfície aplanada quase até ao sector em que posteriormente se encaixou o troço do Douro internacional. Aqui, o canhão fluvial está profundamente inciso na Meseta, cerca de 500 metros, mas com reduzido efeito na sua destruição.

Ainda na Bacia do Douro, mas a sul, o Côa revela traços de um vale antigo em processo evolutivo em favor do sistema fluvial do Douro. A oeste de Figueira de Castelo Rodrigo, o Côa corta a crista de quartzitos da Marofa num processo de antecedência e no sector de Pinhel o seu leito corre entre vertentes relativamente abertas.

5. DISCUSSÃO

Após a edificação da cordilheira varisca, o MI esteve sujeito a processos essencialmente erosivos até à actualidade. Tal como nos restantes domínios do MI, também para o norte de Portugal se admite que as condições predominantes de estabilidade tectónica e de climas tropicais prevalentes durante o Mesozóico se terão conjugado para uma intensa e profunda meteorização, para o arrasamento da cadeia varisca e para o desenvolvimento de um vasto aplanamento fini-cretácico, materializado pelos relevos residuais (Martin-Serrano, 1988). A análise dos dados disponíveis apontam para um processo de reorganização contínua da rede fluvial a partir do Mesozóico, em adaptação aos sucessivos eventos tectónicos, como refere Martin-Serrano (1991) para o MI. Com o levantamento da Cordilheira Cantábrica e dos relevos que se prolongam para o norte de Portugal, definiram-se, no NW da Península Ibérica, três domínios principais de organização das redes de drenagem: o sector nor-ocidental ou orla atlântica que manteve uma drenagem atlântica; pequenas depressões tectónicas intramontanhas com drenagem

endorreica, representadas no sector entre os ATVP e ATBVM; o sector com uma drenagem endorreica para a BTM, representado no sector SE de Portugal.

Na orla atlântica do Minho os cursos fluviais terão prosseguido o seu encaixe e alargamento dos vales por recuo das vertentes até ao limite das montanhas ocidentais, onde se encaixam profundamente. A movimentação de blocos tectónicos poderá ter preservados registos sedimentares mais antigos da drenagem no norte de Portugal, nomeadamente na depressão tectónica de Monção (rio Minho), onde o *Conglomerado de Cortes* apresenta semelhanças evidentes com o *Grés do Buçaco* e na bacia tectónica de Prado (rio Cávado), onde estão assinaladas uma *unidade siderolítica* (Braga, 1988) e uma *unidade argilosa com esporos comuns no Cretácico*. A antiguidade do vale do rio Minho é evidenciada pela maturidade do seu perfil longitudinal e pelo número elevado de terraços erosivos, como os 15 níveis identificados no sector de Orense, alguns dos quais relacionados com o enchimento neogénico em depressões tectónicas, facto que conduz à dedução do início do encaixe a partir do fim do Paleogénio (Temiño & Romani, 2001). Os indicadores paleontológicos e sedimentológicos sugerem, com maior certeza, que no Pliocénico a bacia do rio Minho se estendia, através do rio Sil, até próximo dos limites actuais nas montanhas Galaico-Leonesas, como é evidenciado pelos sedimentos siliciclásticos depositados na depressão de Valença intercalados por um nível argiloso com fósseis. Estes, ao revelarem condições quentes e húmidas sugerem condições de deposição associadas a um alto nível marinho, situação extensível às depressões de Prado e Alvarães. Após a sucessão sedimentar atribuída ao Pliocénico seguiram-se 4 grandes ciclos de encaixe fluvial, o último dos quais correspondente à incisão e enchimento pós-Würm (Pereira & Alves, 2001; 2004).

Com os sucessivos eventos tectónicos cenozóicos, as regiões mais interiores do norte de Portugal alteraram de forma significativa o modelo de drenagem. As características e a idade proposta para as *Arcoses de Nave de Haver*, sugerem um modelo de drenagem pouco encaixado, em resposta a impulso ou impulsos tectónicos paleogénicos. O nível de aplanamento que se desenvolve a cerca de 850 metros está em continuidade entre o soco e as arcoses. A norte, os sedimentos cenozóicos acumulados e preservados nas depressões tectónicas e nos paleovales incisos no substrato varisco transmontano relacionam-se com várias fases tectónicas posteriores às *Arcoses de Nave de Haver*, quatro delas datadas entre o Tortonianiano (Miocénico terminal) e o Gelasiano (Pliocénico superior) (Pereira, 1997, 1998, 1999a; 1999b; Pereira *et al.*, 2000). No planalto mirandês o importante nível aplanado a cerca de 750 metros desenvolve-se sobre o enchimento dos paleovales pela *Formação Bragança* e poderá corresponder a um embutimento na superfície representada a sul.

As diversas unidades sedimentares identificadas sugerem um largo espaço temporal de drenagem endorreica, para as pequenas bacias de Chaves, de Mirandela, de Bragança ou de Macedo de Cavaleiros ou mesmo para a bacia Terciária do Douro através dos paleovales do sector mais oriental. A drenagem atlântica terá capturado sucessivamente os sectores mais interiores, não só em consequência da movimentação tectónica mas também de episódios importantes de arrefecimento (Pereira, 2004). A captura do sector central a norte do Douro, entre os ATVP e ATBVM terá sido facilitada pela estrutura de blocos tectónicos, alguns dos quais com forte subsidência como são os casos das depressões de Mirandela e da Vilarça. Antes da captura da BTM, a drenagem atlântica promoveu uma acentuada erosão no vale do Sabor, erosão que se estende quase até ao sector do Douro Internacional. O troço do Douro Internacional revela-se jovem, com um perfil longitudinal muito acentuado, em forte ruptura com o perfil do Douro português, encaixe quase vertical e uma reduzida erosão lateral afectando a superfície da Meseta. Neste quadro, admite-se a evolução desde um Douro primitivo, limitado á fachada atlântica, até ao Douro actual, passando sucessivamente pelas etapas erosivas Douro-Tâmega, Douro-Tua e Douro-Sabor. O nível de aplanamento situado a cerca de 500 metros nas proximidades do vale do Douro (em especial em Freixo de Espada à Cinta) parece corresponder à última etapa de estabilidade antes da captura deste sector pela drenagem atlântica.

6. CONCLUSÕES

O conjunto de dados geomorfológicos, sedimentológicos, e tectónicos permitem compreender uma evolução complexa do relevo e da rede de drenagem no norte de Portugal. A estruturação do relevo está fortemente relacionada com episódios compressivos cenozóicos que no Paleogénico terão levantado o sector NW do MI, em especial as montanhas do Minho ocidental, as montanhas Galaico-Leonesas, que se prolongam até Montesinho, bem como os relevos que a sul limitam a bacia do Douro. Com a edificação destes relevos ter-se-á revitalizado a rede atlântica minhota que prosseguiu por um lado uma forte erosão lateral na orla atlântica e um encaixe profundo nas montanhas interiores. Para o interior ter-se-á observado

uma reorganização profunda da drenagem, orientada para a BTB e representada pelas *Arcozes de Nave de Haver*, e uma importante fase de modelação da superfície da Meseta.

Com os episódios tectónicos neogénicos ter-se-á observado a continuação do levantamento das montanhas, mas fundamentalmente a modelação dos blocos tectónicos entre os ATVP e ATBVM e a retenção dos sedimentos em bacias como as de Chaves, Bragança ou Mirandela. No sector mais oriental do planalto mirandês, ao escavamento de paleovales segue-se a sua colmatação por sedimentos e uma nova etapa importante de aplanamento.

A captura da drenagem do interior norte de Portugal bem como a dimensão e forma de um Douro primitivo permanecem como temas de difícil entendimento. A maior extensão e incisão dos afluentes da margem norte do Douro sugerem que a penetração do Douro para o interior se terá realizado por captura progressiva de diversos blocos abatidos, como os de Mirandela e da Vilariça, enquanto a sul o bloco levantado de Montemuro terá individualizado a bacia do Mondego mais a sul.

A forte penetração da erosão na sub-bacia do Sabor na superfície da Meseta do sector oriental constitui um dado objectivo em favor de um Douro-Sabor que se estabeleceu entre duas etapas importantes: a de modelação de um nível de aplanamento que afecta os sedimentos terciários e a de captura do sector espanhol da actual bacia hidrográfica do Douro, bem expressa pelo canhão fluvial do Douro internacional.

Como se observa, a dispersão e a escassez dos dados recolhidos não permitem ainda traçar com segurança o processo evolutivo da drenagem no norte de Portugal, nomeadamente da transição da drenagem endorreica que caracterizou o sector oriental para a drenagem atlântica promovida pelo Douro.

REFERÊNCIAS

- Alves, M. I. C. (1995). *Materiais Plio-Quaternários do Alto Minho. Produtos de meteorização e depósitos fluviais na bacia do rio Lima e região de Alvarães*. Dissertação de doutoramento. Dep. Ciências da Terra, Univ. Minho, Braga.
- Alves, M.I.C. & Pereira, D.I. (2000). A sedimentação e a gliptogénese no registo Cenozóico continental do Minho (NW Portugal). *Ciências da Terra (UNL)*, 14, 101-112.
- Andeweg, B. (2002). Cenozoic tectonic evolution of the Iberian Peninsula: causes and effects of changing stress fields. Netherlands Research School of Sedimentary Geology (NSG) publication n° 20020101.
- Araújo, M. A. (1991). *Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto*. Tese de Doutoramento em Geografia Física, Fac. Letras, Univ. Porto.
- Araújo, M. A. (2004). O final do Cenozóico na plataforma litoral da região do Porto. *Geomorfologia do NW da Península Ibérica*. GEDES, Fac. Letras, Univ. Porto, 117-137.
- Araújo, M.A., Gomes, A., Chaminé, H, Fonseca, P., Pereira, L. G. & Jesus, A. (2003). Geomorfologia e geologia regional do sector de Porto-Espinho (W de Portugal): implicações morfoestruturais na cobertura sedimentar cenozóica. *Cadernos Lab. Xeológico de Laxe*, 28, 79-105.
- Baptista, J. (1998). *Estudo Neotectónico da Zona de Falha Penacova-Régua-Verin*. Dissertação de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Braga, A. (1988). *Arenas e depósitos associados da bacia de drenagem do rio Cávado (Portugal). Contribuição para o estudo da arenização*. Dissertação de doutoramento. Dep. Ciências da Terra, Univ. Minho, Braga.
- Cabral, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. *Memórias do Instituto Geológico e Mineiro*, 31, 265p.
- Cabral, J. (1992). Geomorfologia in Notícia Explicativa da Folha 1 da Carta Geológica de Portugal à escala 1/200000 (coord. E. Pereira). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Cunha, P. & Pereira, D. I. (2000). Evolução cenozóica da área de Longroiva-Vilariça (NE Portugal). *Ciências da Terra (UNL)*, 14, 89-98.
- Cunha, P., Pimentel, N. & Pereira, D. I. (2000a). Assinatura tectono-sedimentar do auge da compressão bética em Portugal – a descontinuidade sedimentar intra-Valesiano terminal. *Ciências da Terra (UNL)*, 14, 61-72.
- Cunha, P., Pimentel, N. & Pereira, D. I. (2000b). Registro tectono-sedimentario de la fase tectonica de máxima compresión bética en las cuencas continentales de lo ocidente ibérico - la ruptura intra-Vallesiense. *Geotemas, Sociedad Geologica de España*, 2, 63-66.
- Feio, M. (1951). A depressão de Régua-Verin. *Notas geomorfológicas*, 6, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 5-46.
- Ferreira, A. B. (1978). Planaltos e montanhas do Norte da Beira. Estudo de Geomorfologia. *Memorias do Centro de Estudos Geográficos*, Lisboa, 4, 210p.
- Ferreira, A.B. (1983). Problemas da evolução geomorfológica quaternária do Noroeste de Portugal. *Cuadernos do Laboratório Xeológico de Laxe*, 5, Corunha, 311-329.
- Ferreira, A.B. (1986). A Depressão de Chaves-Verin. Novas achegas para o seu conhecimento. *In: Estudos de Homenagem a Mariano Feio*, R. S. Brito (Ed.), Lisboa, 199-222.
- Ferreira, A.B. (1991). Neotectonics in Northern Portugal: a geomorphological approach. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 82, 73-85.
- Ferreira, A.B. (2004). O Noroeste (Minho e Trás-os-Montes Ocidental) in: *O Relevo de Portugal: grandes unidades regionais* (org. M. Feio & S. Daveau). *Assoc. Port. Geomorfólogos*, Vol. II, Coimbra, 111-125.
- Gomes, A. (2008). *Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral entre Espinho e Águeda*. Dissertação de doutoramento. Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto. 345p.
- Gomes, J. (2005). *As bacias de Mirandela, Macedo de Cavaleiros e de Vilariça-Longroiva; estudo de geomorfologia*. Tese de doutoramento. Inst. Est. Geográficos, FLUC. 539p.

- Marques, F., Mateus, A., Amaral, H., Gonçalves, M., Tassinari, C., Silva, P. & Miranda, J. (2001). The Amares basin: an ENE-WSW graben formed by recent reactivation of the late-Variscan fracture network? *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, 88, 33-50.
- Martin-Serrano, A. (1988). El relieve de la región occidental zamorana. La evolución geomorfológica de un borde del Macizo Hespérico. *Instituto de Estudios Zamoranos "Florian de Ocampo"*, Zamora, 311 p.
- Martin-Serrano, A. (1991). La definición y el encajamiento de la red fluvial actual sobre em Macizo Hespérico em el marco de su geodinâmica alpina. *Rev. Soc. España*, 4 (3-4), 337-351.
- Martin-Serrano, A. (1994). Macizo Hespérico Septentrional, *in* Geomorfología de España. 25-62, Editorial Rueda, Madrid.
- Martin-Serrano, A. (2004). El borde occidental de la cuenca del Duero. *In: Geomorfología do NW da Península Ibérica*, M.A. Araújo & A. Gomes (Eds.), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, GEDES, 53-70.
- Pereira, D. I. (1989). Sedimentologia e estratigrafia dos depósitos Quaternários do rio Minho (região de S. Pedro da Torre). *Provas A. P. C. C.*, Universidade do Minho, 132p.
- Pereira, D. I. (1991). Evolução quaternária do rio Minho na região de S. Pedro da Torre e Valença. *Memórias e Notícias*, Publ. Mus. Lab. Min. Geol., Univ. Coimbra, 112, 327-345.
- Pereira D. I. (1997). *Sedimentologia e Estratigrafia do Cenozóico de Trás-os-Montes oriental (NE Portugal)*, Dissertação de Doutoramento, Universidade do Minho.
- Pereira D. I. (1998). Enquadramento estratigráfico do Cenozóico de Trás-os-Montes oriental. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 84 (1), A126-A129.
- Pereira, D. I. (1999a). O registo sedimentar em Trás-os-Montes oriental nas proximidades do limite Neogénico/Quaternário. *Estudos do Quaternário (Revista da APEQ)*, 2, 27-40. Braga.
- Pereira D. I. (1999b). Terciário de Trás-os-Montes oriental: evolução geomorfológica e sedimentar. *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, 86, 213-226.
- Pereira, D. I. (2003). Depósitos terciários de Macedo de Cavaleiros: enquadramento morfotectónico e evolução paleoambiental. *Ciências da Terra (UNL)*, Lisboa, n.º esp. V, C57-C60.
- Pereira, D. I. (2004). Dos aspectos gerais a algumas particularidades da geomorfologia do Nordeste Transmontano e do Alto Douro. *In: Geomorfologia do NW da Península Ibérica*, M.A. Araújo & A. Gomes (Eds.), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, GEDES, 71-91.
- Pereira, D. I. (2006). Geomorfologia in Notícia Explicativa da Folha 2 da Carta Geológica de Portugal (coord. E Pereira). *INETI*, Lisboa.
- Pereira, D. I. & Alves, M. C. (2001). Litofácies e modelo de sedimentação quaternária do rio Minho (NW Portugal). Ambientes quaternários: interacção entre a geodinâmica, clima, biodiversidade e Homem *Actas da V Reunión do Quaternário Ibérico e I Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas*, 56-59.
- Pereira, D. I. & Alves, M. C. (2004). Late Neogene alluvial facies of northern Portugal. *Actas do 23rd LAS Meeting of Sedimentology – Sedimentology and Society*, Universidade de Coimbra, p. 217.
- Pereira, D. I. & Azevedo, T. (1991). Origem e evolução dos depósitos de cobertura da região de Bragança. *Mem. Not. Pub. Mus. Min. Geol. Univ. Coimbra*, 112, A, 247-265.
- Pereira, D. I. & Azevedo, T. (1993a). Depósitos de preenchimento das depressões associadas ao acidente de Bragança-Manteigas, no sector a norte do Douro (Trás-os-Montes, Portugal). *Actas da 3ª Reunión do Quaternário Ibérico*, Coimbra, p. 183-190.
- Pereira, D. I. & Azevedo, T. (1993b). Caracterização sedimentológica e geomorfológica dos depósitos de Raña da região de Bragança, com vista à definição das suas condições de génese e evolução. *Centro de Estudos Medioambientales*, Monografias, 2, 27-39. Madrid.
- Pereira, D. I. & Azevedo, T. (1995). *Evolução quaternária do graben da Vilarça (Trás-os-Montes, NE Portugal)*. Cadernos do Laboratório Xeológico de Laxe, *Corunha, Espanha*, 20, 123-137.
- Pereira, D.I., Alves, M. C., Araújo, A. & Cunha, P. (2000). Estratigrafia e interpretação paleogeográfica do Cenozóico continental do norte de Portugal. *Ciências da Terra*, 14, 73-82.
- P. Pereira (2006). *Geomorfologia e Património Geomorfológico do Parque Natural de Montesinho*. Dissertação de doutoramento. Dep. Ciências da Terra, Univ. Minho, Braga.
- Poças, E., Pereira, D. & Pais, J. (2003). Análise palinológica preliminar da Formação de Vale Álvaro (Bragança, NE Portugal). *Ciências da Terra (UNL)*, nº esp. V, 17-18.
- Poças, E. (2004). Contribuição da Palinologia para a caracterização paleoecológica e paleoclimática do Cenozóico a norte do Douro. Dissertação de mestrado, Universidade do Minho.
- Ribeiro, O., Neiva, J.M.C. & Teixeira, C. (1943) - Depósitos detríticos da bacia do Cávado. (Nota preliminar). *Bol. Soc. Geol. Portugal*, III: 87-94.
- Temiño, Y. J. & Romani, V. (2001). Morphogenesis of the Ourense Plains (NW of Spain). *Cadernos Lab. Xeológico de Laxe*, 28, 263-283.
- Santanach, P. (1994). Las cuencas terciarias gallegas en la terminación occidental de los relieves pirenaicos. *Cuadernos del Laboratorio Xeológico de Laxe* 19. 57-71.
- Teixeira, C., Medeiros, A.C., Alves, C.A.M. & Moreira, M.M. (1969) - Carta Geológica de Portugal, na escala de 1/50000. Notícia Explicativa da folha 5-C, Barcelos. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 49p.
- Teixeira, C. & Pais, J. (1976) - *Introdução à paleobotânica. As grandes fases da evolução dos vegetais*. Lisboa, 210p.
- Teixeira, C. & Gonçalves, F. (1980) - *Introdução à geologia de Portugal*. Instituto Nacional de Investigação Científica, 475p.
- Vicente, G. De, Vegas, R., Muñoz Martín, A., Silva, P.G., Andriessen, P., Cloetingh, S., González Casado, J.M., Van Wees, J.D. Álvarez, J., Carbó, A. & Olaiz, A. (2007). Cenozoic thick-skinned deformation and topography evolution of the Spanish Central System. *Global and Planetary Change* 58 (2007) 335–381.
- Vieira, M. (2008). *Palinologia do Pliocénico da Orla Norte e Centro de Portugal: contributo para a compreensão da cronostratigrafia e da evolução paleoambiental*. Dissertação de doutoramento. Dep. Ciências da Terra, Univ. Minho, Braga.

1.3. A geoconservação e a educação para a sustentabilidade

José Brilha

Resumo

Na última década, a geoconservação tem-se vindo a afirmar como uma nova especialidade no âmbito das Geociências. A geoconservação compreende a inventariação, conservação e gestão do património geológico, um recurso natural, não renovável, com diversos tipos de valor mas sujeito a ameaças, principalmente de natureza antrópica. Promover a conservação do património geológico, através do seu uso sustentável, deveria ser uma prioridade em todas as sociedades. Para tal, é necessário identificar e conhecer os locais onde a geodiversidade possui características excepcionais (cujo conjunto constitui o património geológico), tarefas baseadas, fundamentalmente, em critérios científicos. Todavia, não se consegue garantir a conservação deste património natural sem que a sociedade tenha adquirido o conhecimento da real importância da geodiversidade e do património geológico. São assim determinantes políticas e acções de educação para a geoconservação, quer no domínio formal (em contexto escolar) como não formal (dirigidas ao público em geral). Nesta palestra, serão discutidos alguns conceitos básicos relacionados com a geoconservação e será dada uma rápida perspectiva sobre o desenvolvimento, mais recente, desta temática em Portugal.

Bibliografia fornecida

- Brilha, J.B. (2009) – A importância dos geoparques no ensino e divulgação das Geociências. *Geologia USP, Publicação Especial*, São Paulo, v. 5, 27-33.
- Brilha, J.B. (2010) – Enquadramento legal de suporte à protecção do património geológico em Portugal. In J.M. Coteló Neiva, A. Ribeiro, L. Mendes Victor, F. Noronha, M. Magalhães Ramalho (Edts.). *Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História*. Associação Portuguesa de Geólogos, Volume II, 443-450.
- Brilha, J.B., Galopim de Carvalho, A.M. (2010) – Geoconservação em Portugal: uma introdução. In J.M. Coteló Neiva, A. Ribeiro, L. Mendes Victor, F. Noronha, M. Magalhães Ramalho (Edts.). *Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História*. Associação Portuguesa de Geólogos, Volume II, 435-441.
- Henriques, H. (2010) – O Ano Internacional do Planeta Terra e a Educação para a Geoconservação. In: J.M. Coteló Neiva, A. Ribeiro, L. Mendes Victor, F. Noronha, M. Magalhães Ramalho (Edts.). *Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História*. Associação Portuguesa de Geólogos, Volume II, 465-474.
- Pereira D., Brilha, J., Pereira, P. (2008) – *Geodiversidade: valores e usos*. Universidade do Minho, Braga, ISBN: 978-972-95255-6-8, 16 p.

A Importância dos Geoparques no Ensino e
Divulgação das Geociências

*The Importance of Geoparks for the
Geosciences Teaching and Interpretation*

José Bernardo Rodrigues Brilha^{1,2,3} (jbrilha@dct.uminho.pt)

¹Departamento de Ciências da Terra - Universidade do Minho
Campus de Gualtar, 4710-057, Braga, PT

²Centro de Geologia da Universidade do Porto, Porto, PT

³ProGEO-Portugal

Recebido em 14 de maio de 2009; aceito em 24 de junho de 2009

RESUMO

A implementação de geoparques, originalmente na Europa mas atualmente com expressão em todo o Mundo, veio possibilitar a criação de novas estratégias promotoras do ensino e divulgação das Geociências. Centrados na conservação do patrimônio geológico na perspectiva do seu uso sustentável, os geoparques permitem veicular, não só conhecimentos de caráter técnico-científico, mas também valores promotores de uma cidadania responsável. No entanto, para atingir com sucesso estes objetivos, a estrutura de gestão dos geoparques deve contar com pessoal técnico especializado, devidamente suportado numa sólida ligação à comunidade e administração locais. Neste trabalho, serão desenvolvidos estes tópicos e apresentados exemplos de ações educativas dirigidas às escolas e ao público em geral, em curso, em geoparques europeus.

Palavras-chave: Geoparques; Ensino; Divulgação; Geociências; Patrimônio geológico; Geoconservação.

ABSTRACT

The creation of geoparks, at first in Europe but nowadays in the whole world, allowed the establishment of new strategies for the teaching and interpretation of the geosciences. Geoparks promote not only the interpretation of geological knowledge but also the values of responsible citizenship, based on a sustainable use of well-protected geological heritage. In order to achieve these aims, geopark staff must include experts in geosciences education, and must maintain a close relationship with the local community. This paper develops these topics, and discusses several examples of geological education and interpretation in European geoparks.

Keywords: Geoparks; Education; Interpretation; Geosciences; Geoheritage; Geoconservation.

INTRODUÇÃO

O conceito de geoparque surgiu no final do século XX na Europa. Um geoparque é um território, bem delimitado geograficamente, com uma estratégia de desenvolvimento sustentado baseada na conservação do patrimônio geológico, em associação com os restantes elementos do patrimônio natural e cultural, com vista à melhoria das condições de vida das populações que habitam no seu interior. A filosofia de base na criação de geoparques centrou-se no desenvolvimento de redes que permitam uma troca de experiências e uma promoção conjunta do conceito e de cada um dos membros da rede. Assim, em 2000, é criada a Rede Europeia de Geoparques - REG (Zouros, 2004; McKeever e Zouros, 2005) com a participação de quatro membros: Geoparque da Floresta Petrificada de Lesvos (Grécia), Geoparque da Reserva Geológica de Haute-Provence (França), Geoparque de Vulkaneifel (Alemanha) e Geoparque de Maestrazgo (Espanha). O reconhecimento da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) da relevância do conceito de geoparque assegurou, desde logo, a sua ligação à REG. Aliás, em finais da década de 90, a UNESCO chegou a considerar a possibilidade de criar, na sua estrutura, um programa mundial sobre geoparques, à semelhança dos programas já existentes promotores da conservação da biodiversidade. No entanto, tal programa nunca chegou a ser oficialmente aprovado, alegadamente por dificuldades orçamentais.

A REG rapidamente ganhou novos membros, tendo em 2009 alcançado 34 geoparques em 13 países europeus (www.europeangeoparks.org). O sucesso da REG levou a UNESCO a envolver-se um pouco mais nesta nova dinâmica tendo esta criado, em 2004, a Rede Global de Geoparques - RGG (Missotten e Patzak, 2006). Verifica-se, desde então, um crescente interesse, um pouco por todo o Mundo, pelos geoparques. Em 2009, a RGG conta com 58 membros (incluindo os 34 da REG) em 18 países (Austrália, Brasil, China, Irã e Malásia, além dos 13 países europeus). Para uma mais eficaz gestão, a RGG prevê a existência de redes regionais, das quais a REG é a correspondente para a Europa.

Quer a REG como a RGG possuem um mecanismo periódico de auto-avaliação dos seus membros, o que obriga à manutenção dos parâmetros de qualidade exigidos por ambas as redes. Este procedimento garante um esforço contínuo de todos para se manterem veiculados a uma estrutura que, no seu conjunto, confere grande visibilidade internacional. A esta visibilidade não é alheia a associação com a UNESCO, instituição internacional que detém grande prestígio na grande maioria dos países.

A criação de geoparques veio revolucionar o modo como se divulga as Geociências. Integrando na estratégia

de gestão de um geoparque não só o património geológico, como também a biodiversidade, a arqueologia e outros aspectos da herança cultural, as Geociências ganharam visibilidade pública. O cidadão comum, normalmente com um baixo conhecimento sobre o que são as Geociências e qual a sua importância para a sociedade (Brilha, 2004), tem agora a possibilidade de se aperceber do modo como a geodiversidade condiciona todo o desenvolvimento natural e humano. Uma paisagem, por exemplo, deixa apenas de ser apreciada pelo seu valor estético, mas também por aquilo que ela representa em termos de evolução dos processos geológicos, biológicos e humanos.

GEOCONSERVAÇÃO E GEOPARQUES

Uma estratégia de geoconservação deve integrar diversas etapas sequenciais, de modo a permitir que todos os recursos (humanos, técnicos e financeiros) sejam utilizados com o máximo de eficácia (Brilha, 2005). A inventariação, caracterização, conservação, divulgação e monitorização de geossítios é essencial para garantir a geoconservação e a sua ligação com a sociedade (Figura 1). A relação entre geoconservação e ciência é estabelecida em dois sentidos. Por um lado, a geoconservação deve ser sempre suportada e justificada nos aspectos geocientíficos que vão definir, antes de tudo, o reconhecimento de um determinado geossítio. São os critérios científicos que devem nortear um inventário do património geológico (Lima, 2008; Lima, Brilha, Salamuni, 2008a; 2008b). Por outro lado, a geoconservação assegura a manutenção do valor científico dos geossítios, permitindo que as futuras gerações de geólogos continuem a ter acesso aos melhores e mais completos testemunhos da história geológica do nosso planeta, fazendo desta forma progredir o conhecimento científico.

Mas a geoconservação possui também óbvias ligações com as políticas de conservação da Natureza e de ordenamento do território (Figura 1). O seu enquadramento legal deve estar devidamente integrado nas opções estratégicas nacionais/regionais/locais de conservação dos valores naturais (juntamente com as preocupações de preservação da biodiversidade) e de ordenamento territorial, uma vez que a gestão de geossítios implica o estabelecimento de restrições ao uso da superfície terrestre. Finalmente, uma estratégia de geoconservação bem implementada permite a criação de riqueza através da instituição de atividades geoturísticas garantindo, simultaneamente, um recurso educativo de inegável importância social.

A importância de conservar património geológico de valor educativo para o futuro das Ciências da Terra é destacado por Van Loon (2008). Este autor lembra que a crescente escassez de locais com potencial para uso educativo compromete a educação geral em Geociências e a forma-

ção de novos geólogos. Com efeito, em algumas regiões do globo, o crescimento urbano e o desenvolvimento das respectivas estruturas de apoio têm levado à destruição de geossítios, muitas vezes por simples incúria das respectivas autoridades. A escassez de geossítios para uso educativo, situados a uma distância adequada dos respectivos estabelecimentos de ensino, condiciona o ensino das Geociências, em especial numa época de escassez de recursos financeiros. Por exemplo, em países como a Holanda, com um baixo índice de geodiversidade, a formação de novos geólogos implica a realização de longos deslocamentos até outros países para permitir a observação de determinados fenômenos geológicos, acarretando elevados custos que, atualmente, as universidades têm dificuldade em suportar. Na Inglaterra, por exemplo, a questão é diferente. Apesar de possuir um elevado índice de geodiversidade, a alta densidade populacional coloca em risco a conservação de geossítios o que foi, de alguma forma, a razão para este país ter implementado uma estratégia nacional de geoconservação desde há várias décadas (Burek e Prosser, 2008).

Os geoparques, inventariando e conservando geossítios no seu território, estão, desta forma, promovendo o ensino das Geociências. O simples fato de serem identificados geossítios de valor educativo já é uma relevante contribuição para o ensino da Geologia, facilitando assim a atividade



Figura 1. A geoconservação estabelece diversas relações com a sociedade, garantindo a educação e o avanço científico na área das Geociências. Inserindo-se no enquadramento legal associado com a conservação da Natureza e o ordenamento do território, a geoconservação permite ainda a criação de riqueza através do geoturismo.

dos professores que se sentem, frequentemente, inseguros no que diz respeito a efetuar aulas de campo. O desenvolvimento de estratégias de promoção educativa recorrendo ao patrimônio geológico da região, com a disponibilização de guias devidamente treinados e de recursos educativos apropriados, tem-se revelado como um fator essencial para incentivar os professores a promoverem aulas de campo com os seus alunos, de diversos graus de ensino, particularmente pré-universitário. Apenas nos primeiros quatro meses de 2009, o Geoparque Naturtejo (Portugal) teve envolvidos nos seus programas educativos, 1.543 alunos e 167 professores de todos os graus de ensino. O Geoparque Naturtejo, com uma densidade populacional média de apenas 20 habitantes por km², consegue atrair estudantes e professores de fora do seu território, em resultado de uma bem conseguida estratégia educativa dirigida por técnicos com formação apropriada. Pelas mesmas razões, o Geoparque Arouca (Portugal), com pouco mais do triplo da densidade populacional da Naturtejo, irá mobilizar no primeiro semestre de 2009, cerca de 3.600 alunos e quase 300 professores. Para o sucesso de uma estratégia educativa em geoparques muito contribui a existência de pessoal técnico especializado. No caso dos dois geoparques portugueses já referidos, as respectivas responsáveis pelo setor educativo fazem parte do corpo técnico dos geoparques e possuem formação superior na área do ensino das Geociências e mestrado na área da geoconservação.

Para uma adequada utilização educativa dos geoparques, é também essencial contar nas escolas com um corpo de professores motivado. Infelizmente, em grande parte dos países, o ensino pré-universitário da Geologia é praticamente inexistente, não havendo, em consequência, professores devidamente preparados para o efeito. Em muitos casos, conteúdos da área das Geociências são lecionados no âmbito de disciplinas de Geografia e/ou Biologia, por professores que não têm a necessária formação científica. Ao longo de décadas, esta situação tem levado a que o cidadão médio tenha uma baixa percepção dos principais fundamentos das ciências geológicas e do seu real impacto na sociedade.

A Assembléia Geral das Nações Unidas, através da Resolução 57/254 de Dezembro de 2002, consagrou a década 2005 - 2014 à Educação para o Desenvolvimento Sustentável, tendo sido definidos quatro grandes objetivos (www.unesco.org/education/):

1. promover e melhorar a qualidade da Educação;
2. reorientar e rever os programas de ensino;
3. reforçar a formação técnica e profissional;
4. informar e sensibilizar o público em geral, bem como os meios de comunicação, para o conceito de Desenvolvimento Sustentável.

Integrado nas comemorações desta década, as Nações Unidas decidiram igualmente (Resolução 601/192 de 2005) declarar o ano de 2008, como Ano Internacional do Planeta Terra, na sequência de uma proposta da União Internacional das Ciências Geológicas (IUGS). À escala internacional, existe assim um contexto propício à promoção maciça das Geociências, em associação com as questões relacionadas com o desenvolvimento sustentável (Brilha, 2007; Henriques, 2008).

Os geoparques estão em condições privilegiadas para desempenhar este papel de promotores da educação em Geociências para o desenvolvimento sustentável, dirigida a todo o tipo de público. Construídos sobre estratégias integradoras dos diversos tipos de aspectos físicos, biológicos e culturais de uma região, os geoparques conseguem demonstrar a interdependência destes aspectos, conceito essencial para o paradigma da sustentabilidade. Recorrendo a conteúdos apropriados de informação e interpretação, os visitantes de um geoparque podem facilmente compreender que, por exemplo, pelo fato de se encontrarem numa região granítica, as construções tradicionais são em granito, os solos possuem certas características que vão determinar o tipo de agricultura existente e que, por consequência, tal vai influenciar a gastronomia local. A divulgação pública das Geociências só tem a beneficiar quando se conseguem estabelecer relações diretas e indiretas, quer com a biodiversidade, como com a cultura e outros aspectos do nosso quotidiano.

A REG, apercebendo-se deste potencial de educação e divulgação, tem promovido diversas atividades, destacando-se a *Semana Europeia de Geoparques* que decorre anualmente entre maio e junho em todos os geoparques europeus. Com o objetivo de aumentar a sensibilização do público para a geoconservação e a promoção do património geológico, incluem-se nesta iniciativa palestras, ações para escolas, passeios pedestres guiados, exposições, feiras, festivais etc. Em 2008, a REG organizou 450 eventos que tiveram 37.200 participantes nos 13 países europeus (www.europeangeoparks.org).

EXEMPLOS DE AÇÕES EDUCATIVAS E DE DIVULGAÇÃO EM GEOPARQUES

São inúmeras as possibilidades de promover o ensino e a divulgação das Geociências em geoparques. Iremos apresentar, seguidamente, algumas propostas de ações concretas, muitas delas retiradas da experiência de geoparques europeus.

Adoção de um geossítio

À semelhança do que acontece em alguns jardins zoológicos, é possível uma escola da área do geoparque ser

“responsável” por um determinado(s) geossítio(s). O desenvolvimento de um projeto envolvendo diretamente os alunos nos esforços de limpeza, recuperação e conservação de um geossítio (em articulação com os técnicos do geoparque) pode contribuir para associar o geoparque às escolas da região. Ao se deslocarem com alguma frequência ao “seu geossítio” os estudantes criarão ligações afetivas com o geoparque que, de alguma forma, também se estenderão aos elementos da sua família mais próxima.

Ações e materiais para alunos

Todos os geoparques, sem exceção, desenvolvem atividades educativas baseadas no seu património geológico. Estas atividades, adaptadas à faixa etária dos alunos, podem contemplar ações lúdico-recreativas dedicadas à geodiversidade (jogos educativos, concursos de pintura, teatros etc.) e ações de carácter mais formal como aulas de campo e/ou de laboratório. A edição de cadernos educativos adaptados a cada nível de escolaridade é algo comum à maioria dos geoparques (Figura 2). Podem ainda organizar atividades que promovam a multidisciplinaridade, integrando aspectos não só da geodiversidade da região, como da biodiversidade e da cultura.

Ações para professores

Os geoparques constituem locais privilegiados para o desenvolvimento de ações de formação para professores. Dado o carácter multidisciplinar de um geoparque, é possível organizar atividades para professores de diversas especialidades. A vantagem de mostrar o geoparque aos professores relaciona-se também com o fato de lhes dar a conhecer as potencialidades do geoparque, incentivando assim a realização futura de ações com os seus alunos. De modo a reduzir o efeito de saturação, os geoparques devem renovar continuamente o tipo de ações educativas que desenvolvem. Apesar de os estudantes serem diferentes em cada ano, os professores podem ficar desmotivados se verificam que as atividades propostas pelo geoparque se mantêm ano após ano. Neste sentido, e no âmbito das ações de formação para professores, estes podem ser desafiados a colaborar diretamente com as equipas técnicas dos geoparques de modo a criar ações educativas inovadoras e adaptadas aos seus próprios alunos.

Mascote do geoparque

A identificação de um elemento da geodiversidade que possa ser suficientemente representativo do mesmo (como exemplo, Figura 3), e que tenha potencial para ser graficamente utilizado em materiais educativos e de divulgação



Figura 2. Os programas educativos do Geoparque Naturtejo e do Geoparque Arouca (Portugal) estão disponíveis em papel e em PDF a partir dos respectivos *websites*, apresentando aos docentes do ensino pré-universitário a oferta de atividades educativas para o ano letivo 2008/09. Estas atividades, organizadas e promovidas por técnicos especializados, são não só uma importante forma de divulgação junto de professores e alunos como constituem uma fonte de rendimento para os geoparques.



Figura 3. Exemplo de um painel interpretativo bilingue no Geoparque de Vulkaneifel (Alemanha). Vale salientar a representação de uma mascote, dirigida ao público mais jovem, que lembra um prisma de basalto resultante da disjunção colunar típica destas rochas, um dos elementos de geodiversidade associados a zonas vulcânicas. A mascote é também usada na forma de boneco, constituindo uma fonte de receita para o geoparque.

(bonés, lápis etc.), pode constituir uma mais-valia na estratégia educativa do geoparque. Por exemplo, no Geoparque de Vulkaneifel, na Alemanha, em que os aspectos vulcânicos são os que mais se destacam na geodiversidade da região, a mascote é baseada num prisma de basalto, típico da disjunção colunar destas rochas.

Cooperação com escolas e universidades da região

O estabelecimento de protocolos com as escolas que se localizem no interior (ou nas imediações) da área do geoparque tem sido uma prática em diversos países europeus. Estes protocolos podem contemplar toda a forma de atividades educativas com contrapartidas para ambas as partes. Por exemplo, um protocolo pode prever que os alunos da escola tenham uma redução no pagamento das ações a realizar no geoparque, desde que a escola se comprometa a levar todos os seus alunos de um determinado nível de escolaridade. Uma relação especial com universidades da região pode potenciar a realização de trabalhos de fim de curso/estágios dos estudantes e mesmo a realização de trabalho de investigação por parte dos respectivos investigadores.

Ações de divulgação geral

Os geoparques fazem um esforço de divulgação, quer das suas potencialidades, quer das atividades que são promovidas no seu território. A educação não formal do público em geral é um aspecto muito relevante na perspectiva da sustentabilidade, à qual um geoparque não se deve alhear. Como ações de divulgação mais comuns referem-se:

1. página *web* (de preferência multilíngue de acordo com a origem geográfica da maioria dos visitantes; no entanto, a fim de facilitar uma promoção em rede, uma versão em língua inglesa é essencial);
2. comunicados de imprensa (com periodicidade regular, abrangendo meios de comunicação social nacionais, regionais e locais);
3. presença em eventos (locais/regionais/nacionais) de divulgação da região;
4. edição de publicações sobre o geoparque dirigidas ao grande público;
5. organização de eventos alusivos a temáticas relacionadas com o geoparque (exposições, lançamento de livros, concursos, projeção de filmes etc.).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os geoparques possuem um impacto social variável consoante o âmbito considerado (Figura 4). Em situações

de sucesso, no contexto da comunidade local, a percepção do geoparque é máxima. As populações locais, que antes da criação de um geoparque na sua região nunca se tinham apercebido dos aspectos geológicos, passam a defender, com orgulho, o “seu” património geológico, em especial quando o referido geoparque é reconhecido por uma instituição internacional de prestígio, como é o caso da UNESCO. Esta é também uma das razões pela qual é importante que um geoparque possua um elevado nível de qualidade que permita a entrada nas redes internacionais, aumentando também o impacto junto da comunicação social. É ainda localmente que se fazem sentir as principais vantagens económicas do estabelecimento de um geoparque. O aumento do movimento registrado em hotéis e restaurantes, por exemplo, é um dos primeiros efeitos económicos a serem registrados no território.

No setor educativo se registra uma maior influência local e regional pela criação de um geoparque, uma vez que muitas atividades escolares passam a ter, como mote, o geoparque da sua região. A inserção do geoparque numa rede internacional favorece o desenvolvimento de atividades educativas que permitem descobrir outros geoparques distribuídos pelo mundo. Por exemplo, uma escola que esteja perto de um geoparque marcado pelos aspectos vulcânicos, pode estabelecer parcerias e projetos educativos com escolas que também se localizem em geoparques vulcânicos num outro país qualquer. Vale salientar, ainda, que se o património geológico de um geoparque possuir real importância nacional e internacional, a vertente educativa do geoparque sairá bastante reforçada.



Figura 4. De acordo com o conceito de geoparque, o seu grau de impacto na sociedade é máximo naquela localidade, diminuindo gradualmente conforme a abrangência (regional, nacional e internacional).

A importância dos geoparques no ensino e divulgação das Geociências tem-se revelado excepcional. A implementação de uma estratégia de geoconservação bem suportada em critérios científicos, o envolvimento de um corpo técnico multidisciplinar e com formação adequada e a existência de uma entidade de gestão adaptada ao meio e às especificidades do território são condições essenciais para o sucesso de um geoparque.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho insere-se no projeto “Identificação, caracterização e conservação do patrimônio geológico: uma estratégia de geoconservação para Portugal” (PTDC/CTE-GEX/64966/2006) da Universidade do Minho e nas atividades de investigação do Centro de Geologia da Universidade do Porto, ambos financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (Portugal). O autor agradece igualmente a Profa. Joseli Piranha (UNESP) a leitura atenta do manuscrito.

REFERÊNCIAS

BUREK, C. V.; PROSSER, C. D. (Eds) *The history of geoconservation*. London: Geological Society, 2008. 312 p. (Geological Society Special Publication, n. 300).

BRILHA, J. A. Geologia, os Geólogos e o Manto da Invisibilidade. *Comunicação e Sociedade*, Braga, n. 6, p. 257-265, 2004.

BRILHA, J. *Patrimônio Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica*. Palimage Editores: Viseu, 2005. 190 p.

BRILHA, J. Ano Internacional do Planeta Terra: uma abordagem em contexto educativo. In: CURSO DE ACTUALIZAÇÃO DE PROFESSORES DE GEOCIÊNCIAS: COMUNICAÇÕES - ITINERÁRIOS - TRABALHOS PRÁTICOS, 28., 2007, Porto. *Memórias...* Porto: Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2007, n. 11, p. 15-18.

HENRIQUES, M. H. Ano Internacional do Planeta Terra e Educação para a Sustentabilidade. In: VIEIRA, R. M.; PEDROSA, M. A.; PAIXÃO, F.; MARTINS, I. P.; CAAMAÑO, A.; VILCHES, A.; MARTIN-DÍAZ, M. J. (Coords.). *Ciência-Tecnologia-Sociedade no Ensino das Ciências - Educação Científica e Desenvolvimento Sustentável*. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2008. p. 110-116.

LIMA, F. F. *Proposta Metodológica para a Inventariação do Patrimônio Geológico Brasileiro*. 2008. 94 f. Disserta-

ção (Mestrado em Patrimônio Geológico e Geoconservação) - Universidade do Minho, 2008.

LIMA, F. F.; BRILHA, J.; SALAMUNI, E. Inventariação do patrimônio geológico: análise e discussão metodológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 2008^a, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBG, 2008, 1 CD-ROM.

LIMA, F. F.; BRILHA, J.; SALAMUNI, E. Estratégia de inventariação do patrimônio geológico brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 2008^b, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBG, 2008, 1 CD-ROM.

McKEEVER, P.; ZOUROS N. Geoparks: Celebrating Earth heritage, sustaining local communities. *Episodes*, v. 28, n. 4, p. 274-278, 2005.

MISSOTTEN, R.; PATZAK M. Global Network of National Geoparks. In: UNESCO INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOPARKS, 2., 2006. Belfast/Ireland. *Abstracts...* Belfast/Ireland, p. 153, 2006.

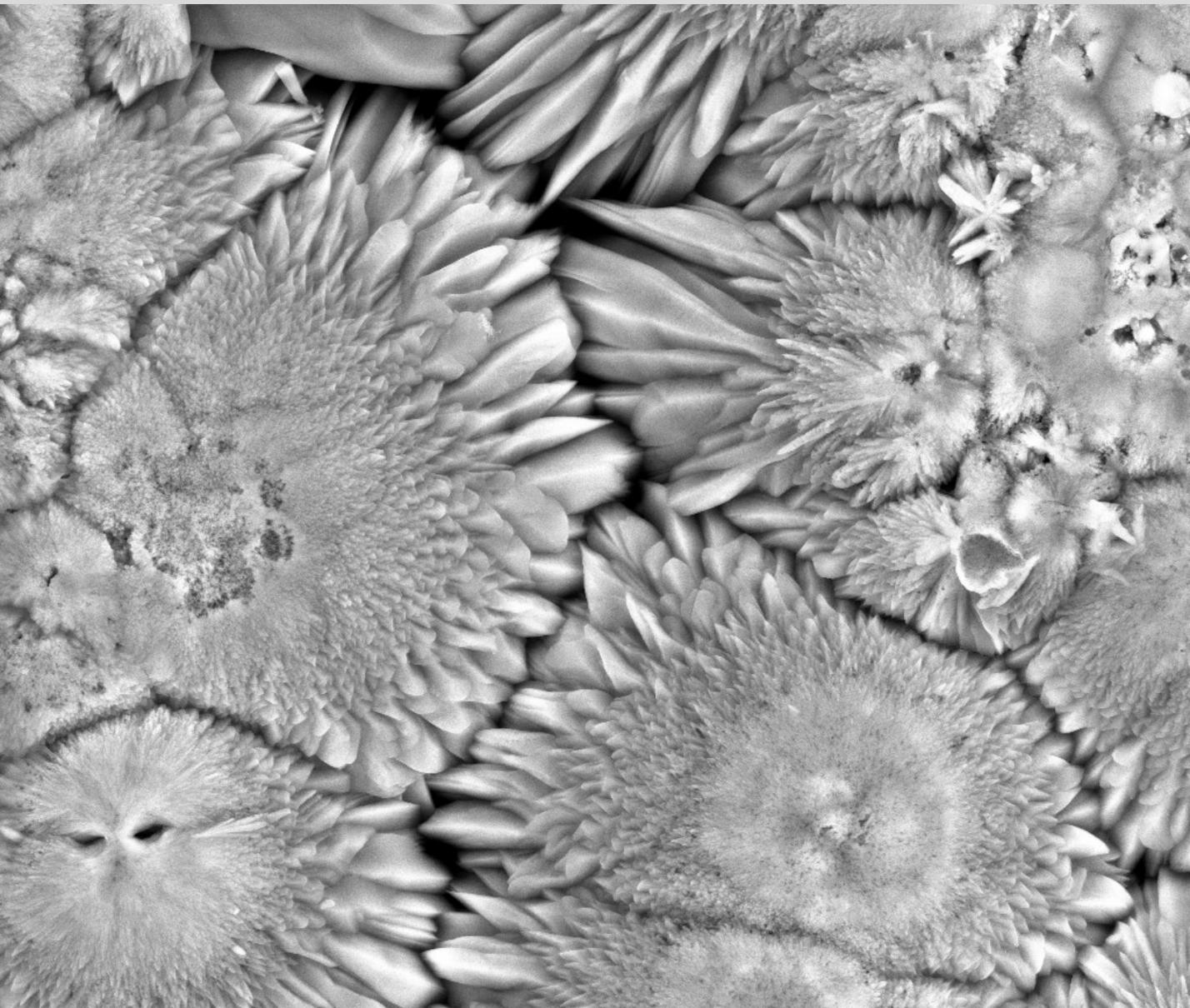
VAN LOON, A. J. Geological education of the future. *Earth-Science Reviews*, v. 86, p. 247-254, 2008.

ZOUROS, N. The European Geoparks Network. Geological heritage protection and local development. *Episodes*, v. 27, n. 3, p. 165-171, 2004.

Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História

Volume II

Geologia Aplicada



Publicação Comemorativa do "ANO INTERNACIONAL DO PLANETA TERRA"

Associação Portuguesa de Geólogos
Sociedade Geológica de Portugal

J.M. Cotelo Neiva, António Ribeiro, Mendes Victor, Fernando Noronha, Magalhães Ramalho

ENQUADRAMENTO LEGAL DE SUPORTE À PROTECÇÃO DO PATRIMÓNIO GEOLÓGICO EM PORTUGAL

LEGAL FRAMEWORK AND THE PROTECTION OF GEOLOGICAL HERITAGE IN PORTUGAL

José Brilha¹

RESUMO

As acções de geoconservação devem estar apoiadas em legislação publicada no âmbito da conservação da Natureza e do ordenamento do território. Neste trabalho apresenta-se um balanço da legislação nacional em vigor que, directa e indirectamente, relação com a protecção do património geológico. Apresenta-se e discute-se a legislação publicada em 2008 que integra, pela primeira vez em Portugal, o conceito de património geológico. São também apresentados alguns instrumentos legais europeus e internacionais que suportam a geoconservação em Portugal.

PALAVRAS-CHAVE: conservação da natureza, legislação, património geológico, geoconservação.

ABSTRACT

A strong legal framework related with Nature conservation and land-use planning should support geoconservation activities. This work presents the present-day status of the Portuguese legislation that can be used for geosites protection. The brand new legislation published in 2008 is discussed, stressing the integration of geological heritage concepts for the first time in this country. Some European and International legislation related with the Portuguese geological heritage protection is also discussed.

KEY-WORDS: nature conservation, legislation, geological heritage, geoconservation.

INTRODUÇÃO

Toda e qualquer iniciativa nacional de geoconservação deve ser devidamente suportada pela legislação em vigor no país. Por seu lado, de um modo geral, a legislação reflecte, de alguma forma, a percepção que a sociedade tem sobre um determinado tema. Ao longo dos últimos 40 anos, Portugal tem implementado um razoável número de instrumentos legais de suporte à conservação da Natureza, evidenciando uma evolução nas preocupações fundamentais sobre este tema, para além de cumprir a necessidade decorrente de incorporar os normativos comunitários e internacionais na legislação nacional.

Brilha (2005) apresenta uma resenha histórica sobre a evolução da legislação em Portugal, no que diz respeito à conservação da Natureza, com particular destaque para o modo como a protecção do património geológico tem vindo, ou não, a ser incorporada na legislação. Em 1970 foi publicada a primeira lei que preconizava a conservação da Natureza (ou melhor, a protecção da Natureza, como então se designava). A Lei n.º 9/70, de 19 de Junho, defendia a necessidade de promover a protecção da Natureza, nomeadamente através da criação de diversos tipos de áreas protegidas. No ano seguinte, foi criada a primeira área protegida em Portugal, o Parque Nacional da Peneda-Gerês, 99 anos após a criação do Parque Nacional de Yellowstone nos Estados Unidos da América, o primeiro parque nacional do Mundo, e 53 anos depois da criação do Parque Nacional da Montanha de Covadonga (chamado de Parque Nacional dos Picos de Europa desde 1935), o primeiro parque nacional espanhol. Este desfasamento evidencia bem o atraso de Portugal no que respeita à implementação de políticas de conservação da Natureza, durante grande parte do século XX.

¹ Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, jbrilha@dct.uminho.pt- Centro de Geologia da Universidade do Porto

De 1970 até 2000, a legislação nacional no âmbito da conservação da Natureza permaneceu praticamente omissa no que respeita à geoconservação. Mais do que estar a detalhar a evolução que teve a legislação até ao início dos anos 2000 (para tal recomenda-se a consulta de Brilha, 2005), interessa agora destacar o actual contexto legal que assinala o arranque do século XXI, com particular ênfase nas referências à geoconservação.

A GEOCONSERVAÇÃO NO CONTEXTO LEGISLATIVO NACIONAL

Em 2001, foi publicada a Estratégia Nacional da Conservação da Natureza e da Biodiversidade – ENCNB (Resolução do Conselho de Ministros n.º 152/2001, de 11 de Outubro e respectiva Declaração de Rectificação n.º 20-AG/2001, de 31 de Outubro), um documento já previsto, desde 1987, na Lei de Bases do Ambiente e com vigência prevista até 2010.

Durante a fase de discussão pública, a ProGEO-Portugal (o grupo nacional da Associação Europeia para a Conservação do Património Geológico criado em 2000 [www.progeo.pt]) teve a oportunidade de propor um conjunto alargado de alterações à versão inicial, uma vez que esta estava completamente desprovida da mínima menção às questões relativas à conservação do património geológico. De notar que grande parte das alterações propostas foram aceites e incorporadas no documento final, embora a redacção final tenha sido modificada.

Assim, a ENCNB apresenta três objectivos gerais (item 11): “*i) Conservar a Natureza e a diversidade biológica, incluindo os **elementos notáveis da geologia, geomorfologia e paleontologia**; ii) Promover a utilização sustentável dos recursos biológicos; iii) Contribuir para a prossecução dos objectivos visados pelos processos de cooperação internacional na área da conservação da Natureza em que Portugal está envolvido, em especial os objectivos definidos na Convenção sobre a Diversidade Biológica, ... designadamente a conservação da biodiversidade, a utilização sustentável dos seus componentes e a partilha justa e equitativa dos benefícios provenientes da utilização dos recursos genéticos*”.

Para alcançar estes três objectivos, a ENCNB prevê 10 opções estratégicas (item 12), das quais se refere expressamente: “*Desenvolver em todo o território nacional acções específicas de conservação e gestão de espécies e habitats, bem como de **salvaguarda e valorização do património paisagístico e dos elementos notáveis do património geológico, geomorfológico e paleontológico***”. De modo a atingir os objectivos previstos na ENCNB, “*...consideram-se de especial importância os estudos destinados a ... **promover a identificação dos elementos notáveis do património geológico, geomorfológico e paleontológico, tendo em vista a sua classificação e salvaguarda***”. Entre as diversas directivas de acção definidas destaca-se a seguinte: “*elaborar um **plano de acção para o património geológico, geomorfológico e paleontológico, dinamizando para o efeito a comunidade científica, com o objectivo de **inventariar, caracterizar e avaliar os elementos notáveis daquele património, de modo a permitir a criação de uma rede de monumentos naturais e a identificação de medidas para a sua **salvaguarda, divulgação e visita*******”.

Verifica-se, assim, que a ENCNB contempla um conjunto de preocupações relativas à necessidade de se efectivar o conhecimento, conservação e divulgação do património geológico nacional. Infelizmente, não se conhece um particular desenvolvimento das directivas de acção previstas na ENCNB. Com efeito, quatro anos após a aprovação deste documento, o Governo de então anunciou um Plano de Acção relativo à implementação da ENCNB para o período 2005-2007, de certa forma tentando ultrapassar a inércia de que enfermava a ENCNB. Em Novembro de 2008, o Instituto de Conservação da Natureza e da Biodiversidade anunciou que está a coordenar a elaboração de um relatório intercalar de avaliação da execução da ENCNB.

Do ponto de vista da geoconservação, acreditamos que a ENCNB permitiu alertar a sociedade e o poder político para a necessidade de considerar o património geológico nas políticas de conservação da Natureza, como efectivamente se veio a reflectir em documentos publicados posteriormente.

É o caso do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), aprovado pela Lei n.º 58/2007, de 4 de Setembro. Tal como tinha sucedido anteriormente com a ENCNB, a ProGEO-Portugal formulou um conjunto de sugestões durante a fase de discussão pública, por forma a incluir a temática da geoconservação neste documento. De acordo com o n.º 2 do Art. 1.º, “*o PNPOT é um instrumento de desenvolvimento territorial de natureza estratégica que estabelece as grandes opções com relevância para a organização do território nacional, consubstancia o quadro de referência a considerar na elaboração dos demais instrumentos de gestão territorial e constitui um instrumento de cooperação com os demais Estados membros para a organização do território da União Europeia*”.

O Programa de Acção, anexo à Lei n.º 58/2007, “*visa concretizar a estratégia de ordenamento, desenvolvimento e coesão territorial do País*”. Neste documento, são definidas diversas medidas de acção a executar no período 2007–2013, de onde se destacam as seguintes, por se referirem ao património geológico:

- i) “*Completar e actualizar a cobertura do território continental, com as cartas de solos à escala adequada e com o levantamento do património geológico e mineiro, incluindo a identificação e classificação dos respectivos elementos notáveis*”.
- ii) “*Completar e actualizar o levantamento geológico na escala de 1:50 000 e identificar e classificar os elementos notáveis do património geológico e mineiro*”.
- iii) “*Promover a inventariação, classificação e registo patrimonial dos bens culturais, nomeadamente dos valores patrimoniais arqueológicos e geológicos*”.
- iv) “*Definir e executar uma Estratégia Nacional de Geoconservação*”.

Verifica-se que no horizonte temporal até 2013, o PNPOT prevê a realização de diversas acções concretas de identificação, classificação e conservação do património geológico. Espera-se que, ao contrário do que sucedeu com a ENCNB, as acções previstas no âmbito do PNPOT sejam efectivamente desenvolvidas.

O recente Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Biodiversidade foi publicado no Decreto-Lei (DL) n.º 142/2008, de 24 de Julho, que veio substituir e revogar o Decreto-Lei n.º 19/93, de 23 de Janeiro, de criação da Rede Nacional de Áreas Protegidas. Mais uma vez, a ProGEO-Portugal desempenhou um papel muito relevante ao sugerir um conjunto de propostas durante a fase de consulta às organizações não governamentais do ambiente. Constatou-se que, praticamente, todas as sugestões da ProGEO-Portugal foram incorporadas na versão final deste DL, com excepção para a introdução do termo *geodiversidade* na legislação portuguesa. Desconhece-se a razão pela qual a tutela decidiu recusar o uso deste termo, ao contrário do que já se verifica em outros países europeus, nomeadamente na Espanha. Com efeito, a também recente Lei Espanhola n.º 42/2007, de 13 de Dezembro, sobre Património Natural e Biodiversidade, usa o termo *geodiversidade* em exacto plano de igualdade com o termo *biodiversidade*, tal como era proposto pela ProGEO-Portugal mas, infelizmente, recusado, sem justificações, pelo Ministério do Ambiente.

Apesar da ausência do termo *geodiversidade*, o Decreto-Lei n.º 142/2008 vem provocar uma enorme revolução no modo como o património geológico é encarado na legislação portuguesa. Pela primeira vez, os conceitos de *geossítio* e de *património geológico* são correctamente definidos e utilizados, e é reconhecida a necessidade de concretizar a conservação e gestão deste património natural. Dos vários objectivos que se pretendem alcançar com este DL, refere-se “*promover o reconhecimento pela sociedade do valor patrimonial, intergeracional, económico e social da biodiversidade e do património geológico*”. Apresentam-se, de seguida e a este respeito, alguns extractos mais significativos deste DL.

No seu Art. 6.º, refere-se que “*a conservação da natureza e da biodiversidade compreende o exercício ... de acções de conservação activa, que correspondem ao conjunto de medidas e acções de intervenção dirigidas ao maneio directo de espécies, habitats, ecossistemas e geossítios, bem como o conjunto de medidas e acções de intervenção associadas a actividades sócio-económicas, tais como a silvicultura, a mineração, a agricultura, a pecuária, a caça ou a pesca, com implicações significativas no maneio de espécies, habitats, ecossistemas e geossítios, tendo em vista a sua manutenção ou recuperação para um estado favorável de conservação*”.

Ao contrário do que sucedia no Decreto-Lei n.º 19/93, no Art. 12.º do novo DL está agora claramente apresentada a importância do património geológico na definição de áreas protegidas: “*A classificação de uma área protegida visa conceder-lhe um estatuto legal de protecção adequado à manutenção da biodiversidade e dos serviços dos ecossistemas e do património geológico, bem como à valorização da paisagem*”. É ainda referido que “*o decreto regulamentar de classificação pode interditar ou condicionar a autorização da autoridade nacional, no interior da área protegida, as acções, actos e actividades susceptíveis de prejudicar a biodiversidade, o património geológico...*” (n.º 3, alínea d do Art. 14.º).

No que diz respeito aos vários tipos de áreas protegidas, de salientar que a necessidade de proteger os valores geológicos é referida claramente no caso de Parques Nacionais, Reservas Naturais e Monumentos Naturais (Arts. 16.º, 18.º e 20.º, respectivamente). Particularmente, “*entende-se por monumento natural uma ocorrência natural contendo um ou mais aspectos que, pela sua singularidade, raridade ou representatividade em termos ecológicos, estéticos, científicos e culturais, exigem a sua conservação e a manutenção da sua integridade*” e que “*a*

*classificação de um monumento natural visa a protecção dos valores naturais, nomeadamente **ocorrências notáveis do património geológico**, na integridade das suas características e nas zonas imediatamente circundantes, e a adopção de medidas compatíveis com os objectivos da sua classificação, designadamente: a) A limitação ou impedimento das formas de exploração ou ocupação susceptíveis de alterar as suas características; b) A criação de oportunidades para a investigação, educação e apreciação pública”.*

No Art. 28.º, refere-se que o “*Sistema de Informação sobre o Património Natural ... é constituído pelo inventário da biodiversidade e do **património geológico** presentes no território nacional*”, ao contrário do que estava previsto anteriormente onde não era referido o património geológico. Quanto ao Cadastro Nacional dos Valores Naturais Classificados, trata-se de “*um arquivo de informação sobre os valores naturais classificados*”, devendo conter informação sobre “*os ecossistemas, habitats, espécies e **geossítios***” (Art. 29.º).

Também com carácter inovador, é previsto que “*a destruição ou delapidação de bens culturais inventariados ou **geossítios***” em áreas protegidas é considerada uma contra-ordenação ambiental muito grave (n.º 1, alínea q do Art. 43.º). Por outro lado, “*a colheita, a detenção e o transporte de amostras de recursos geológicos, nomeadamente **minerais, rochas e fósseis***”, também em áreas protegidas, é considerada contra-ordenação ambiental leve (n.º 4, alínea h do Art. 43.º).

Como se pode comprovar pela análise anterior, o Decreto-Lei n.º 142/2008, de 24 de Julho, constitui uma importante viragem na conservação da Natureza em Portugal incorporando, pela primeira vez, a geoconservação. Resta aguardar pela real e efectiva aplicação de tão importante documento legislativo.

No que diz respeito à Região Autónoma dos Açores, Lima (2008) apresenta uma completa revisão da evolução da legislação regional neste arquipélago. Ao abrigo do Decreto Legislativo Regional (DLR) n.º 21/93/A, de 23 de Dezembro, foram criadas diversas áreas protegidas, algumas delas especificamente para proteger valores geológicos. Recentemente, o Decreto Legislativo Regional n.º 15/2007/A, de 25 de Junho, procede à “*revisão da Rede Regional de Áreas Protegidas da Região Autónoma dos Açores e determina a reclassificação das áreas protegidas existentes*”.

De acordo com este DLR, “*a classificação das áreas protegidas tem como fins a protecção e a manutenção da diversidade biológica e a **integridade dos valores geológicos** e dos recursos e valores naturais e culturais que lhe estão associados, os quais são alcançados*” (n.º 1 do Art. 3.º), nomeadamente pela “***preservação de formações geológicas, geomorfológicas ou espeleológicas notáveis***” (n.º 1, alínea e do Art. 3.º).

De acordo com o n.º 2 do Art. 13.º do mesmo DLR, “*podem integrar a categoria de monumento natural as áreas que contenham uma ou mais ocorrências naturais e ou culturais com valor ímpar, devido à raridade das respectivas características, no plano **geológico, paleontológico, estético e cultural** associados*”. De destacar ainda na legislação açoreana que, na Rede Regional de Áreas Protegidas, constitui contra-ordenação a “*colheita de **elementos de interesse paleontológico ou geológico***” (n.º 1, alínea j do Art. 33.º).

A aplicação do Decreto Legislativo Regional n.º 15/2007/A, de 25 de Junho, tem vindo a ocorrer desde o início de 2008. Foram já criados os Parques Naturais da Ilha de São Miguel (DLR n.º 19/2008/A, de 8 de Julho), da Ilha do Pico (DLR n.º 20/2008/A, de 9 de Julho), da Ilha do Corvo (DLR n.º 44/2008/A, de 5 de Novembro), da Ilha Graciosa (DLR n.º 45/2008/A, de 5 de Novembro), da Ilha do Faial (DLR n.º 46/2008/A, de 7 de Novembro) e da Ilha de Santa Maria (DLR n.º 47/2008/A, de 7 de Novembro) que agrupam todas as áreas protegidas já existentes em cada uma destas ilhas. Prevê-se assim que seja criado, em cada ilha, um Parque Natural que integra e gere todas as restantes áreas protegidas da ilha.

Em resumo, na Região Autónoma dos Açores, o património geológico está integrado na legislação regional de conservação da Natureza.

Relativamente à Região Autónoma da Madeira, a legislação sobre conservação da Natureza não está tão bem organizada como no caso dos Açores. Por exemplo, a Madeira não criou uma Rede Regional de Áreas Protegidas, como ocorreu, desde 1993, nos Açores. A primeira legislação regional na Madeira, relativa à conservação da Natureza, foi o Decreto Regional n.º 14/82/M, de 10 de Novembro, que criou o Parque Natural da Madeira. No entanto, este Decreto Regional não faz qualquer referência ao património geológico.

No entanto, em 2004, foi publicado o Decreto Legislativo Regional n.º 24/2004/M, de 20 de Agosto, que “*define os objectivos para a **conservação e preservação do património geológico da Região Autónoma da Madeira***”. Trata-se de um documento especificamente elaborado para proteger o património geológico do arquipélago, constituindo o primeiro do tipo publicado em Portugal.

Neste DLR, são apresentados, no artigo 2.º, os “***objectivos da conservação e preservação do património geológico***: a) *Promover uma política de conservação e preservação do património geológico*; b) *Identificar, inventariar, classificar, documentar e divulgar os locais de interesse geológico*; c) *Promover o conhecimento do património*

geológico, através da investigação, do estudo e da formação e informação dos recursos existentes; d) Promover a sensibilização da comunidade para a importância e relevância do património geológico; e) Definir as áreas de intervenção e os modos de actuação; f) Promover a defesa dos recursos naturais em articulação com o desenvolvimento de actividades económicas, tais como o ecoturismo e o turismo de natureza”.

A implementação do previsto neste diploma “*compete à secretaria regional responsável pela área do ambiente*” (Art. 3.º) prevendo-se ainda, no Art. 4.º, um conjunto de actos que constituem infracções contra o património geológico, passíveis de aplicação de coimas. Finalmente, no Art. 10.º, define-se que “*a regulamentação necessária à aplicação do presente diploma, a aprovar no prazo de 90 dias a contar da data de entrada em vigor, terá a forma de decreto regulamentar regional*”, aprovação que ainda não se verificou ficando assim por aplicar, na íntegra, o Decreto Legislativo Regulamentar n.º 24/2004/M, de 20 de Agosto.

A semelhança do que acontece em alguns países, o património paleontológico é considerado um bem cultural e, por conseguinte, sujeito à aplicação da respectiva legislação. A Lei n.º 107/2001, de 8 de Setembro, “*estabelece as bases da política e do regime de protecção e valorização do património cultural*”. De modo mais abrangente, prevê-se que “*os princípios e disposições fundamentais da presente lei são extensíveis, na medida do que for compatível com os respectivos regimes jurídicos, aos bens naturais, ambientais, paisagísticos ou paleontológicos*”. No seu Art. 2.º, refere-se ainda que “*o interesse cultural relevante, designadamente histórico, paleontológico, arqueológico, arquitectónico, linguístico, documental, artístico, etnográfico, científico, social, industrial ou técnico, dos bens que integram o património cultural reflectirá valores de memória, antiguidade, autenticidade, originalidade, raridade, singularidade ou exemplaridade*”.

A definição do que se entende por património paleontológico está expressa no Art. 74.º: “*integram o património arqueológico e paleontológico todos os vestígios, bens e outros indícios da evolução do planeta, da vida e dos seres humanos: a) Cuja preservação e estudo permitam traçar a história da vida e da humanidade e a sua relação com o ambiente; b) Cuja principal fonte de informação seja constituída por escavações, prospecções, descobertas ou outros métodos de pesquisa relacionados com o ser humano e o ambiente que o rodeia*”.

A Lei n.º 107/2001, de 8 de Setembro, assegura um tratamento diferenciado ao património paleontológico, em comparação com os restantes tipos de património geológico. Tal diferenciação afigura-se descabida, uma vez que outros elementos da geodiversidade para além dos fósseis, podem possuir idêntico valor e consequente necessidade de protecção. Em Portugal, algumas autarquias têm classificado ocorrências geológicas de excepção, ao abrigo desta lei, como Imóveis de Interesse Municipal (Brilha, 2005). A principal vantagem tem sido a de incluir estas áreas nas cartas de condicionantes dos respectivos Planos Directores Municipais, assegurando, desta forma, alguma forma de protecção.

Apesar de não se referir expressamente ao património geomorfológico, a Convenção Europeia da Paisagem, aprovada pelo Decreto n.º 4/2005, de 14 de Fevereiro, salvaguarda, indirectamente, os valores paisagísticos naturais que se baseiam, essencialmente, nas suas componentes geomorfológicas (Pereira, 2006). Neste Decreto, “*a protecção da paisagem designa as acções de conservação ou manutenção dos traços significativos ou característicos de uma paisagem, justificadas pelo seu valor patrimonial resultante da sua configuração natural e ou da intervenção humana*” (Art. 1.º). Uma vez que Portugal se comprometeu em “*estabelecer os instrumentos que visem a protecção, a gestão e ou o ordenamento da paisagem*” (Art. 6.º, E), compete ao Estado a implementação de medidas de geoconservação dos elementos geomorfológicos determinantes nas características das paisagens nacionais. No entanto, não se conhecem iniciativas de geoconservação em Portugal que estejam legalmente suportadas na Convenção Europeia da Paisagem.

A Rede Natura 2000 é uma estrutura que define um conjunto de locais onde se pretende preservar a biodiversidade através da conservação dos *habitats* naturais e da fauna e flora selvagens no território da União Europeia. Esta estrutura resulta da aplicação de duas directivas europeias (Directivas Aves e *Habitats*), transpostas para Portugal pelo Decreto-Lei n.º 140/99, de 24 de Abril, com a redacção dada pelo Decreto-Lei n.º 49/2005, de 24 de Fevereiro.

Apesar de não haver referência concreta aos valores geológicos, o certo é que os eventuais geossítios que se encontrem no interior das áreas classificadas pela Rede Natura 2000 encontram-se, indirectamente, protegidos pela legislação em vigor, uma vez que estes fazem parte da componente abiótica dos *habitats*. O Plano Sectorial da Rede Natura 2000 (PSRN2000) foi publicado através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 115-A/2008, de 21 de Julho, nele se referindo que se trata de um “*instrumento de gestão territorial, de concretização da política nacional de conservação da diversidade biológica, visando a salvaguarda e valorização dos sítios e das ZPE do território continental, bem como a manutenção das espécies e habitats num estado de conservação favorável nestas áreas. Na sua essência, é um instrumento para a gestão da biodiversidade*”. O PSRN2000 destaca algumas das especificidades geológicas de diversos locais integrados na Rede Natura 2000, embora sem referir nenhuma acção concreta de geoconservação. O regime jurídico dos Sítios de Importância

Comunitária e das Zonas de Protecção Especial, que são o suporte para a Rede Natura 2000, foi adaptado para a Região Autónoma dos Açores pelo Decreto Legislativo Regional n.º 18/2002/A, de 16 de Maio e para a Região Autónoma da Madeira pelo Decreto Legislativo Regional n.º 5/2006/M, de 2 de Março. O PSRN2000 para os Açores foi ratificado sob o Decreto Legislativo Regional n.º 20/2006/A, de 6 de Junho, aguardando-se a publicação de legislação congénere para a Região Autónoma da Madeira.

Finalmente, uma alusão à Reserva Ecológica Nacional (REN), cujo regime jurídico foi recentemente aprovado pelo Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de Agosto. A REN é “*uma estrutura biofísica que integra o conjunto das áreas que, pelo valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e susceptibilidade perante riscos naturais, são objecto de protecção especial*” (n.º 1 do Art. 2.º). Podem estar integradas na REN: i) áreas de protecção do litoral; ii) áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre; e iii) áreas de prevenção de riscos naturais. As áreas de protecção do litoral podem incluir, por exemplo, praias, restingas e ilhas-barreira, tómbolos, ilhéus e rochedos emersos no mar, dunas costeiras e dunas fósseis e arribas e respectivas faixas de protecção (n.º 2 do Art. 4.º). As áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre podem integrar cursos de água e respectivos leitos e margens, lagoas e lagos e respectivos leitos, margens e faixas de protecção ou áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos (n.º 3 do Art. 4.º). Finalmente, nas áreas de prevenção de riscos naturais podem ser consideradas zonas ameaçadas pelo mar não classificadas como zonas adjacentes nos termos da Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos (Lei n.º 54/2005, de 15 de Novembro), zonas ameaçadas pelas cheias não classificadas como zonas adjacentes nos termos da mesma lei, áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo ou áreas de instabilidade de vertentes (n.º 4 do Art. 4.º). Tal como se verifica para a Rede Natura 2000, os eventuais geossítios que ocorram nas áreas integradas na REN estão, indirectamente, protegidos por este instrumento de ordenamento do território com aplicação em todo o país.

A GEOCONSERVAÇÃO NA LEGISLAÇÃO INTERNACIONAL E EUROPEIA COM APLICAÇÃO NACIONAL

A nível da legislação de âmbito internacional que contempla, de alguma forma, a protecção de património geológico, de referir a Convenção para a Protecção do Património Mundial Cultural e Natural (UNESCO), aprovada em Portugal pelo Decreto n.º 49/79, de 6 de Junho. Com efeito, no Art. 2.º desta Convenção, considera-se como património natural “*i) os monumentos naturais constituídos por formações físicas e biológicas ou por grupos de tais formações com valor universal excepcional do ponto de vista estético ou científico; ii) as formações geológicas e fisiográficas e as zonas estritamente delimitadas que constituem habitat de espécies animais e vegetais ameaçadas, com valor universal excepcional do ponto de vista da ciência ou da conservação; iii) os locais de interesse naturais ou zonas naturais estritamente delimitadas, com valor universal excepcional do ponto de vista a ciência, conservação ou beleza natural*”.

Apesar de não claramente referido como património geológico, o âmbito de aplicação desta Convenção inclui, obviamente, este tipo de património natural. Dos 878 locais que compõem, actualmente, a Lista de Património Mundial da UNESCO em 145 países, 174 locais são de índole natural, 679 são culturais e 25 mistos (ver lista actualizada em whc.unesco.org/en/list). Dos 13 locais portugueses, apenas a Floresta de Laurissilva da Ilha da Madeira é considerada Património Mundial Natural, não incluindo, portanto, valores geológicos.

A Recomendação Rec(2004)3 sobre Conservação do Património Geológico e Áreas de Especial Interesse Geológico, aprovada em 2004 pelo Conselho de Ministros do Conselho da Europa, apesar de não constituir um documento vinculativo, propõe aos Estados-membro a implementação de medidas de inventariação, conservação e gestão do património geológico. Trata-se do primeiro documento europeu destinado, clara e exclusivamente, a promover a introdução de políticas e acções de geoconservação, nomeadamente:

- Identificar áreas de especial interesse geológico cuja preservação e gestão possam contribuir para a protecção e enriquecimento do património geológico nacional e europeu;
- Desenvolver estratégias nacionais e directrizes para a protecção e gestão das áreas de especial interesse geológico;
- Reforçar ou criar a base legal para proteger as áreas de especial interesse geológico e elementos móveis do património geológico;
- Apoiar programas de educação e de interpretação do património geológico;
- Reforçar a cooperação com as organizações internacionais, instituições científicas e ONGs;
- Orçamentar recursos financeiros adequados para apoiar este conjunto de iniciativas.

Infelizmente, enquanto permanecer com um carácter de “recomendação”, é natural que a sua aplicação não seja muito eficaz. O Conselho da Europa prevê realizar, em 2009, uma avaliação sobre a adopção desta recomendação pelos diversos Estados-membro.

A União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) é a mais relevante instituição internacional neste âmbito, apresentando uma particular relevância pois nela se baseiam as linhas orientadoras das políticas de conservação da Natureza adoptadas pela maior parte dos países. Apesar de se dedicar exclusivamente às questões da conservação da Natureza, o certo é que a IUCN, ao longo dos seus 60 anos de vida, nunca incluiu a geoconservação na sua agenda. Porém, durante o último Congresso Mundial da IUCN, realizado em Outubro de 2008 em Barcelona, foi aprovada uma moção que pretende sensibilizar esta organização para a necessidade de incluir, nas prioridades da IUCN, estratégias de protecção da geodiversidade e do património geológico. Trata-se de uma decisão histórica uma vez que pode realmente vir a influenciar a prática conservacionista em muitos países que seguem de perto as recomendações da IUCN, no que diz respeito às políticas de conservação da Natureza. Evidentemente que ainda é cedo para a referida moção ter impacte em Portugal, mas é de esperar, e desejável, que tal venha a suceder num futuro não muito distante.

INSTITUIÇÕES RESPONSÁVEIS PELA GEOCONSERVAÇÃO

Finalmente, interessa destacar quais são as instituições responsáveis pela implementação de estratégias de geoconservação em Portugal, de acordo com as respectivas atribuições previstas na lei.

O Instituto de Conservação da Natureza e da Biodiversidade (ICNB), criado pelo Decreto-Lei n.º 136/2007, de 27 de Abril, “*tem por missão **propor, acompanhar e assegurar a execução das políticas de conservação da natureza e da biodiversidade e a gestão das áreas protegidas, visando a valorização e o reconhecimento público do património natural***” (Art. 3.º). Logicamente, este Instituto deveria ter um papel crucial na implementação e gestão de uma estratégia nacional de geoconservação. Infelizmente, nem o ICNB, nem o seu antecessor (o Instituto de Conservação da Natureza, criado em 1993), têm demonstrado grande apetência pela geoconservação, pelo menos com o mesmo empenho com que têm desenvolvido a protecção da biodiversidade. Com honrosas raras excepções, como é o caso do Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios de Ourém/Torres Novas, poucas acções têm sido desenvolvidas pelo ICNB no que diz respeito à geoconservação. A falta de pessoal técnico com formação no âmbito da Geologia e a ausência de qualquer estrutura organizativa no organograma do ICNB são demonstrativos do desinteresse pela protecção do património geológico nacional. Aguardamos, com expectativa, que a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 142/2008, de 24 de Julho, “obrigue” o ICNB a inverter esta tendência uma vez que o património geológico está agora muito mais bem representado na legislação, como já foi referido anteriormente.

O Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), que possui as atribuições habituais das instituições conhecidas por “Serviços Geológicos”, concentra, entre outras, as seguintes competências: “*levantamento geológico sistemático e a inventariação, caracterização e valorização dos recursos geológicos e hidrogeológicos do território nacional, e sequente aplicação aos riscos geológicos, ordenamento do território, gestão ambiental e património geológico*” (Portaria n.º 1423/2007, de 31 de Outubro). À semelhança do que acontece em muitos outros países, trata-se da instituição que, pela sua natureza, deve assegurar a inventariação e caracterização do património geológico nacional, em conjugação com outras instituições, nomeadamente as universidades e organizações científicas. Infelizmente e inexplicavelmente, o LNEG, previsto no Decreto-Lei n.º 208/2006, de 27 de Outubro, ainda não está efectivamente em funcionamento, mais de dois anos passados sobre a sua criação formal. Esta lacuna tem sido muito grave para Portugal que, na prática, se tem visto excluído das discussões internacionais no âmbito da geoconservação, por ausência de um organismo estatal com responsabilidades formais nesta matéria.

CONCLUSÃO

O enquadramento legal de suporte à geoconservação em Portugal mudou radicalmente em 2008. Com efeito, a publicação do novo Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Biodiversidade (Decreto-Lei n.º 142/2008, de 24 de Julho), veio reparar uma situação insustentável, em que na política nacional de conservação da Natureza, a protecção dos elementos abióticos de excepção (representativos da geodiversidade) eram praticamente negligenciados relativamente aos elementos bióticos (biodiversidade). Esta modificação na legislação portuguesa reflecte uma tendência actual, que se verifica

também um pouco por todo o mundo, de aumento do reconhecimento do valor da geodiversidade e do património geológico pela sociedade. Depois de décadas em que as políticas de conservação da Natureza estiveram dedicadas, quase em exclusivo, à protecção da fauna e flora, parece haver agora a consciência que a geodiversidade possui também valores de excepção, alguns deles em risco, que devem ser preservados para usufruto das gerações vindouras.

Todavia, a publicação de nova legislação não é o suficiente para que a situação vigente se altere rapidamente. É necessário dotar os organismos públicos, que têm competências na conservação da Natureza e ordenamento do território, de meios humanos e financeiros para que consigam implementar e promover o que está previsto na legislação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho insere-se no projecto “Identificação, caracterização e conservação do património geológico: uma estratégia de geoconservação para Portugal” (PTDC/CTE-GEX/64966/2006), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

REFERÊNCIAS

- Brilha J.B. (2005) – Património Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Palimage Editores, Viseu, 190 p.
- Lima E.M. (2008) – Património geológico dos Açores: Valorização de locais com interesse geológico das Áreas Ambientais, contributo para o ordenamento do território. Tese de Mestrado em Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental, Universidade dos Açores, 106 p.
- Pereira P.J. (2006) – Património geomorfológico: conceptualização, avaliação e divulgação. Aplicação ao Parque Natural de Montesinho. Tese de doutoramento, Universidade do Minho, 370 p.

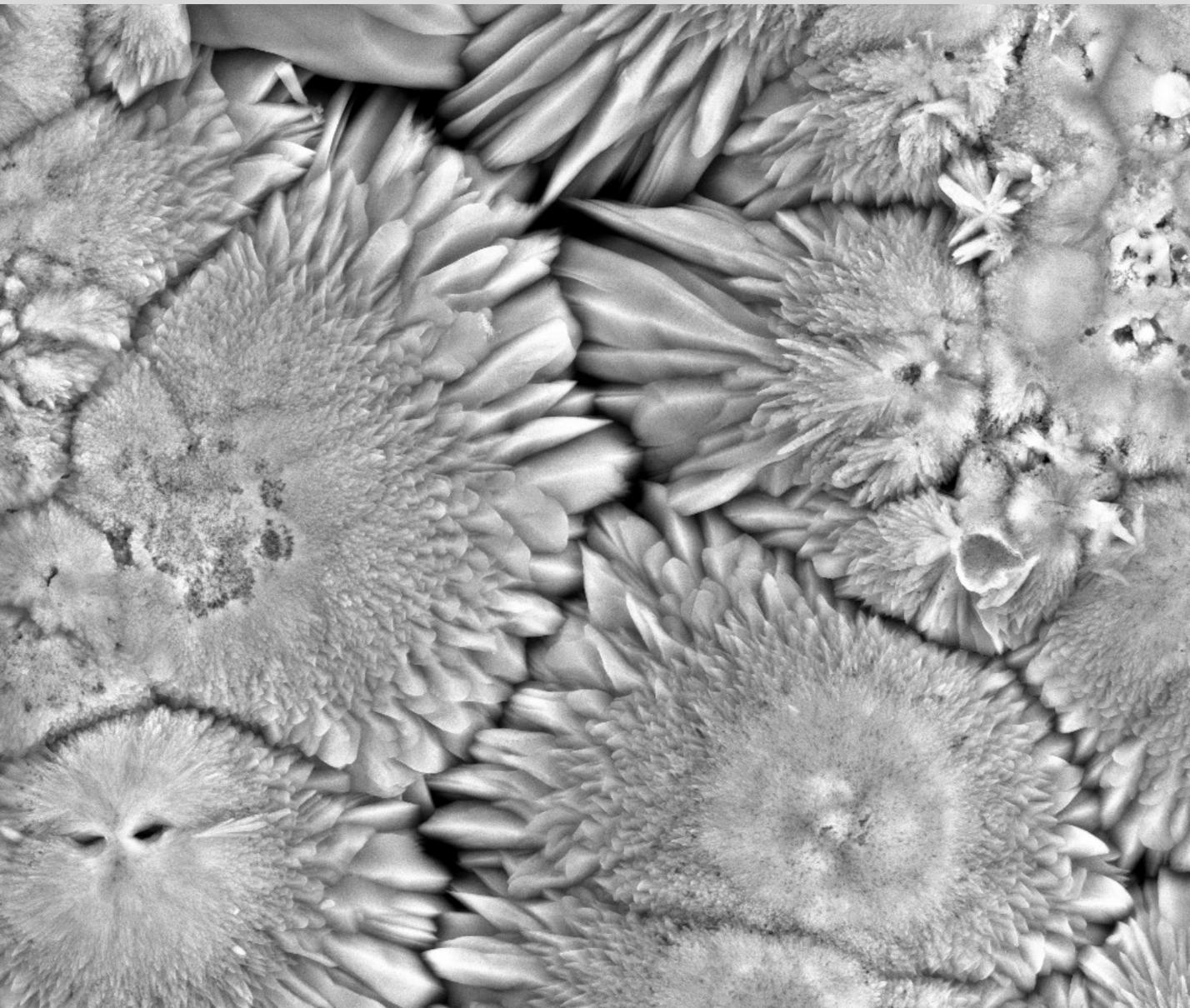
Legislação

- Decreto n.º 49/79, de 6 de Junho: Aprova a Convenção para a Protecção do Património Mundial Cultural e Natural.
- Decreto n.º 4/2005, de 14 de Fevereiro: Aprova a Convenção Europeia da Paisagem.
- Decreto-Lei n.º 19/93, de 23 de Janeiro: Define a Rede Nacional de Áreas Protegidas.
- Decreto-Lei n.º 140/99, de 24 de Abril: Procede à revisão da transposição para o direito interno das directivas comunitárias Aves e *Habitats*.
- Decreto-Lei n.º 49/2005, de 24 de Fevereiro: Altera o Decreto-Lei n.º 140/99, de 24 de Abril.
- Decreto-Lei n.º 208/2006, de 27 de Outubro: Aprova a Lei Orgânica do Ministério da Economia e da Inovação e cria o Laboratório Nacional de Energia e Geologia.
- Decreto-Lei n.º 136/2007, de 27 de Abril: Cria o Instituto da Conservação da Natureza e da Biodiversidade.
- Decreto-Lei n.º 142/2008, de 24 de Julho: Estabelece o Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Biodiversidade.
- Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de Agosto: Estabelece o Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional.
- Decreto Legislativo Regional n.º 21/93/A, de 23 de Dezembro: Aplica à Região Autónoma dos Açores o regime jurídico estabelecido pelo DL n.º 19/93, de 23 de Janeiro (Rede Nacional de Áreas Protegidas).
- Decreto Legislativo Regional n.º 18/2002/A, de 16 de Maio: Aprova o regime jurídico dos Sítios de Importância Comunitária e das Zonas de Protecção Especial da Região Autónoma dos Açores.
- Decreto Legislativo Regional n.º 24/2004/M, de 20 de Agosto: Define os objectivos para a conservação e preservação do património geológico da Região Autónoma da Madeira.
- Decreto Legislativo Regional n.º 5/2006/M, de 2 de Março: Aprova o regime jurídico dos Sítios de Importância Comunitária e das Zonas de Protecção Especial da Região Autónoma da Madeira.
- Decreto Legislativo Regional n.º 20/2006/A, de 6 de Junho: Aprova o Plano Sectorial para a Rede Natura 2000 da Região Autónoma dos Açores.
- Decreto Legislativo Regional n.º 15/2007/A, de 25 de Junho: Procede à revisão da Rede Regional de Áreas Protegidas da Região Autónoma dos Açores e determina a reclassificação das áreas protegidas existentes.
- Decreto Legislativo Regional n.º 19/2008/A, de 8 de Julho: Cria o Parque Natural da Ilha de São Miguel.
- Decreto Legislativo Regional n.º 20/2008/A, de 9 de Julho: Cria o Parque Natural da Ilha do Pico.
- Decreto Legislativo Regional n.º 44/2008/A, de 5 de Novembro: Cria o Parque Natural da Ilha do Corvo.
- Decreto Legislativo Regional n.º 45/2008/A, de 5 de Novembro: Cria o Parque Natural da Ilha Graciosa.
- Decreto Legislativo Regional n.º 46/2008/A, de 7 de Novembro: Cria o Parque Natural da Ilha do Faial.
- Decreto Legislativo Regional n.º 47/2008/A, de 7 de Novembro: Cria o Parque Natural da Ilha de Santa Maria.
- Decreto Regional n.º 14/82/M, de 10 de Novembro: Cria o Parque Natural da Madeira.
- Lei n.º 107/2001, de 8 de Setembro: Estabelece as bases da política e do regime de protecção e valorização do património cultural.
- Lei n.º 54/2005, de 15 de Novembro: Estabelece a titularidade dos recursos hídricos.
- Lei n.º 58/2007, de 4 de Setembro: Cria o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território.
- Portaria n.º 1423/2007, de 31 de Outubro: Aprova os estatutos do Laboratório Nacional de Energia e Geologia.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 152/2001, de 11 de Outubro: Define a Estratégia Nacional da Conservação da Natureza e da Biodiversidade.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 115-A/2008, de 21 de Julho: Aprova o Plano Sectorial da Rede Natura 2000.

Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História

Volume II

Geologia Aplicada



Publicação Comemorativa do "ANO INTERNACIONAL DO PLANETA TERRA"

Associação Portuguesa de Geólogos
Sociedade Geológica de Portugal

J.M. Cotelo Neiva, António Ribeiro, Mendes Victor, Fernando Noronha, Magalhães Ramalho

GEOCONSERVAÇÃO EM PORTUGAL: UMA INTRODUÇÃO

GEOCONSERVATION IN PORTUGAL: AN INTRODUCTION

José B.R. Brilha¹, A.M. Galopim de Carvalho²

RESUMO

A geoconservação, correspondendo a uma nova área de especialidade das Geociências, compreende os aspectos teóricos e aplicados relacionados com a identificação, avaliação, conservação e gestão de elementos da geodiversidade de excepcional valor. Uma estratégia de geoconservação, suportada no conhecimento científico, deve apoiar-se nas políticas de conservação da natureza e de ordenamento do território e deve manter ligações sólidas com as questões educativas e de turismo da natureza. À semelhança da tendência internacional, em Portugal tem-se verificado um aumento da relevância da geoconservação quer a nível da sociedade em geral, como na comunidade geocientífica. No entanto, urge ainda implementar reais e efectivas medidas de geoconservação, quer a nível nacional como local.

PALAVRAS-CHAVE: geoconservação; património geológico; conservação da natureza; Portugal.

ABSTRACT

Geoconservation can be considered a new Geosciences field. Geoconservation integrates theoretical and practical topics related with the inventorying, characterization, conservation and management of exceptional geodiversity elements. A geoconservation strategy should be supported on science, nature conservation and land-use policies and maintain a close link with educational and nature-based tourism issues. Following the international trend, in Portugal the general awareness on geoconservation is rising. Nevertheless, real and effective measures need still to be implemented.

KEY-WORDS: geoconservation; geological heritage; nature conservation; Portugal.

ENQUADRAMENTO

Um pouco por todo o mundo, verifica-se um interesse crescente pela temática da geoconservação, em particular durante as últimas duas décadas (p.e. Burek & Prosser, 2008). Geoconservação é aqui entendida como o conjunto das iniciativas que vão desde a inventariação e caracterização do património geológico, passando pela sua conservação e gestão, de modo a assegurar um uso adequado dos geossítios, quer ele seja de índole científico, educativo, turístico, ou outro. O património geológico corresponde ao conjunto das ocorrências de elementos da geodiversidade com excepcional valor: os geossítios, também conhecidos vulgarmente por geomonumentos, quando estes apresentam uma particular monumentalidade/grandiosidade (Galopim de Carvalho, 1998; 1999; 2008). O facto de se atribuir ao património geológico um conjunto alargado de valores e, simultaneamente, de ameaças (Gray, 2004), justifica a necessidade de implementação de medidas que salvaguardem a sua conservação, constituindo um importante legado para as gerações vindouras. De modo a efectivar e coordenar as diversas actividades associadas com a geoconservação, Brilha (2005; 2006) apresentou uma proposta de estratégia de geoconservação, com aplicação quer a uma escala local como nacional.

Património começou por ser, entre os romanos, o conjunto dos bens pátrios, ou seja, dos bens da família, transmissíveis aos descendentes, de pais a filhos. O conceito alargou-se depois a todos os bens que passavam de gerações em gerações, como herança, ou pertença das que vão constituindo o presente, evocando ou lembrando as passadas, e que se entende preservar para legar às vindouras. É nesta medida que património e monumento se confundem, uma vez que, na origem, igualmente latina, monumento é

¹ Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, jbrilha@det.uminho.pt- Centro de Geologia da Universidade do Porto

² Professor Jubilado do Departamento de Geologia, Universidade de Lisboa, galopim@sapo.pt

tudo o que traz à mente e perpetua alguém ou alguma coisa. Visto quase sempre como um produto concebido e concretizado pelo génio humano, no domínio das artes, da ciência e da tecnologia, o património tem vindo, nos últimos tempos, a abarcar um outro tipo de heranças postas à nossa disposição pela Mãe Natureza. Tais heranças, dado que evocam e perpetuam uma história bem mais antiga do que a decorrente da criatividade humana, devem ser, por força de razão, consideradas monumentos. Foi nesta medida que o Decreto-Lei 19/93, de 23 de Janeiro (entretanto revogado pelo Decreto-Lei nº142/2008, de 24 de Julho), criou a figura jurídica de “Monumento Natural” e que o termo geomonumento tem sido usado para referir toda e qualquer ocorrência geológica que, pelo seu conteúdo, mereça ser preservada e valorizada como um documento do nosso passado geológico. Os geomonumentos são georecursos culturais não renováveis, o que quer dizer que, uma vez destruídos, ficam perdidos para sempre e, com eles, as “páginas” da história da Terra e da Vida que neles podemos ler. Face ao desenvolvimento acelerado da sociedade de consumo, a paisagem que nos rodeia está cada vez mais pobre em elementos naturais, entre eles, estes documentos geológicos. Se não forem tomadas medidas, a curto prazo, visando a geoconservação, os agregados urbanos, em crescimento, e os equipamentos que lhes estão anexos, parques industriais, vias de comunicação, áreas portuárias e aeroportos, irão tapar com betão e asfalto todas as “janelas” abertas ao substrato geológico, ocultando, ao cidadão, uma parte substancial da natureza que o suporta a ele e à sociedade.

O património geológico tem estado esquecido, quando comparado com outros tipos de património como o histórico, cultural e de outros alusivos a aspectos mais particularizados (científico, musical, arquitectónico, folclórico, literário, gastronómico, etc.). Mesmo no âmbito do património natural, o maior destaque tem sido dado às questões relacionadas com a biodiversidade. Uma das razões desta realidade reside na relativa pouca importância dada à componente geológica no nosso ensino (actualmente a situação é um pouco mais favorável no ensino secundário) e na débil cultura média dos portugueses neste domínio. A outra, há que admiti-lo, reside no facto de os geólogos nunca terem sabido unir-se em torno das grandes causas associadas à sua profissão, ao contrário do que têm feito biólogos e arqueólogos, para não falar nos médicos, advogados e engenheiros.

A geoconservação deve ser devidamente suportada em critérios científicos (fundamentalmente geológicos) e enquadrada nas políticas de conservação da natureza e de ordenamento do território (figura 1). Sendo os geossítios elementos integrantes do património natural, é de esperar que estas políticas contemplem, com o mesmo grau de importância, quer a conservação dos elementos notáveis da geodiversidade como da biodiversidade. Infelizmente, tem-se verificado, um pouco por todo o mundo, que nem sempre este equilíbrio se tem verificado, com claro prejuízo para a conservação do património geológico (Brilha, 2002). A geoconservação deve, ainda, estabelecer ligações próximas com todas as estratégias educativas (de carácter formal, não formal e informal). A Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável, promovida pelas Nações Unidas até 2015, constitui um excelente enquadramento para esta interacção (Brilha *et al.*, 2005a; Brilha *et al.* 2006; Henriques, 2009). Finalmente, de destacar que muitos geossítios apresentam características intrínsecas que permitem o seu aproveitamento em iniciativas de turismo da natureza. Este segmento de turismo, com evidentes mais valias para as populações locais, deve integrar, cada vez mais, o aproveitamento de geossítios previamente seleccionados para este fim. O geoturismo, que implica uma interpretação adaptada a um público leigo dos valores geológicos de uma região, é hoje já uma realidade em muitos países (Araújo, 2005; Pereira, 2009; Dowling & Newsome, 2006).

Do ponto de vista científico, multiplicam-se os eventos internacionais no âmbito da geoconservação, como congressos, conferências, *workshops*, etc. Em 2009 iniciou-se a publicação da primeira revista internacional dedicada ao tema, a *Geoheritage*, esperando contribuir para o amadurecimento e reconhecimento do tema pela sociedade e pela própria comunidade geocientífica internacional. Merece ainda particular destaque a expansão de um novo paradigma que agrega a conservação de património geológico com o desenvolvimento sustentável. Trata-se do conceito de geoparque, tal como foi desenvolvido na Europa desde 2000 (Zouros, 2004; Mc Keever & Zouros, 2005) e agora em expansão por todo o mundo, tendo já levado à criação, em 2004, de uma rede global de geoparques com o apoio da UNESCO (Missotten & Patzak, 2006).



Figura 1 – As iniciativas de geoconservação devem estar suportadas em critérios científicos e enquadradas nas políticas de conservação da natureza e de ordenamento do território. A geoconservação deve ainda ter uma interação estreita com as políticas educativas, assim como com as estratégias de turismo da natureza, em especial através das acções no âmbito do geoturismo.

SITUAÇÃO EM PORTUGAL

Em Portugal, verifica-se a mesma tendência internacional de crescimento no que diz respeito ao reconhecimento da importância da conservação do património geológico. Brilha (2005) apresenta uma análise da evolução em Portugal da temática da geoconservação, referindo as principais iniciativas que decorreram desde a publicação do trabalho pioneiro de Flores (1939), considerado um dos primeiros apelos à conservação dos elementos abióticos da Natureza. Ainda antes desta data, Ramalho (2004) refere a preocupação de A. J. Marques da Costa, publicada nas Comunicações dos Serviços Geológicos, em 1916 (pág. 115), a propósito das ameaças que colocavam em risco a Pedra Furada, em Setúbal, um dos geossítios clássicos em Portugal.

Apesar de se verificarem, desde praticamente o início do século XX, algumas iniciativas pontuais que revelavam alguma preocupação pela ausência de medidas de protecção de locais de interesse geológico, o certo é que, até à década de 80, pouco ou nada foi efectivado (Brilha, 2005).

O final da década de 80 e a década seguinte foram marcadas por um conjunto de iniciativas que permitiram, finalmente, uma consciencialização pública e do poder político para a necessidade de conservar o património geológico português. Entre 1996 e 1997, por iniciativa do Museu Nacional de História Natural - MNHN (sob a direcção de A.M. Galopim de Carvalho), foram classificados os cinco primeiros Monumentos Naturais referentes a outras tantas ocorrências de pegadas de dinossáurios. O sexto Monumento Natural actualmente existente, protegendo os afloramentos jurássicos do Cabo Mondego, só viria a ser oficializado em 2007, culminando anos de esforços liderados, principalmente, por M.H. Henriques da Universidade de Coimbra. Ainda por iniciativa do MNHN, de destacar a promoção da geoconservação em alguns municípios do país, através do apoio à classificação e musealização de geossítios de âmbito municipal, com destaque para: a Pedra Furada, em Setúbal, o Monte de St^a. Luzia, em Viseu, com a criação do Museu do Quartzo (em fase final de construção), uma dezena de geomonumentos na cidade de Lisboa e a criação do Núcleo Museológico do Alto de S. Bento, em Évora.

A criação do grupo português da ProGEO (a Associação Europeia para a Conservação do Património Geológico), em 2000, constituiu também um importante marco na geoconservação em Portugal. Durante a participação no *III International Symposium ProGEO on the Conservation of the Geological Heritage*, que decorreu em Madrid em 1999, os participantes portugueses (oriundos das Universidades do Minho e de Lisboa), foram desafiados a constituir um grupo nacional com vista à participação em iniciativas em curso no âmbito da geoconservação. No ano seguinte foi formalizado o grupo, agregando associados de diversas instituições nacionais (www.progeo.pt). Desde então, a ProGEO-Portugal tem

promovido a geoconservação a diversos níveis, de onde se destaca: i) participação activa, por diversas ocasiões, na discussão pública a propósito da criação de nova legislação; ii) disponibilização de uma ficha-tipo para o inventário de geossítios; iii) organização de reuniões científicas, em colaboração com outras entidades; iv) promoção do concurso anual Prémio Geoconservação; v) acompanhamento dos processos de criação de geoparques em Portugal; e vi) emissão de pareceres no que respeita a propostas de classificação de geossítios.

Os resultados da actividade da ProGEO-Portugal têm sido, de alguma forma, encorajadores. A participação na discussão pública no âmbito da publicação de nova legislação garantiu que a geoconservação esteja considerada em documentos relevantes, nomeadamente na Estratégia Nacional da Conservação da Natureza e da Biodiversidade (Resolução do Conselho de Ministros n.º 152/2001, de 11 de Outubro), no Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (Lei n.º 58/2007, de 4 de Setembro) e no Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Biodiversidade (Decreto-Lei n.º 142/2008, de 24 de Julho) (Brilha, 2009). De destacar também o sucesso do Prémio Geoconservação (Brilha, 2008). Através de um concurso anual, esta iniciativa premeia um município, ou associação de municípios, que se evidencie na conservação e gestão do património geológico do respectivo concelho (tabela 1).

Tabela 1 – Vencedores do Prémio Geoconservação atribuído anualmente pela ProGEO-Portugal às Câmaras Municipais. As Câmaras Municipais do Porto e de Paredes receberam ainda uma Menção Honrosa em 2005 e 2007, respectivamente.

Ano	Município	Projecto
2004	Idanha-a-Nova	Incófosséis de Penha Garcia
2005	Valongo	Parque Paleozóico de Valongo
2006	Cantanhede	Museu da Pedra
2007	Associação de Municípios Natureza e Tejo	Geoparque Naturtejo
2008	Arouca	Geoparque Arouca
2009	Porto	Complexo Metamórfico da Foz do Douro

Do ponto de vista da legislação de apoio à geoconservação, Brilha (2005) apresenta uma detalhada revisão dos principais instrumentos legais que foram publicados desde 1970, data em que foi criada a primeira legislação no âmbito da conservação da Natureza em Portugal. A enorme importância de conhecer o suporte legal actualmente em vigor, justificou a opção de se apresentar, neste capítulo, uma revisão comentada (Brilha, 2009). De destacar que Portugal, desde 2008, possui uma legislação que promove a conservação de geossítios (Decreto-Lei n.º 142/2008, de 24 de Julho), colmatando uma lacuna grave na política de conservação da natureza.

Apesar de já se verificar algum reconhecimento do interesse na geoconservação, ainda não existe um inventário completo do património geológico de relevância nacional, apesar de existirem inventários parciais, desenvolvidos com objectivos específicos (p.e. Coelho, 2003; Galopim de Carvalho, 1999; 2008; Ferreira *et al.*, 2003; Dias *et al.*, 2005; Pereira, 2006; Ramalho *et al.*, 2005; Rocha, 2008; Rodrigues, 2008; Silva, 2007). Brilha *et al.* (2005b) apresentam uma proposta de organização para a inventariação do património geológico português de relevância internacional, com base na metodologia em uso no âmbito da ProGEO e da União Internacional das Ciências Geológicas (IUGS). Actualmente, está em curso um projecto de investigação, que pretende desenvolver a metodologia para o inventário nacional e apresentar a listagem dos geossítios com maior valor científico de Portugal, um instrumento essencial para garantir a gestão deste património natural (Brilha *et al.*, 2008). Este projecto, liderado pela Universidade do Minho, conta com a participação de mais onze instituições nacionais e é financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Relativamente ao arquipélago dos Açores, Lima (2007) apresentou um inventário de geossítios que ocorrem em todas as áreas protegidas das diversas ilhas. Foram identificados 59 geossítios,

a maioria dos quais com relevância internacional e nacional. Por iniciativa do Governo Regional da Madeira, encontra-se em curso um projecto que visa a inventariação do património geológico da ilha da Madeira.

Como foi já referido, um dos meios pelo qual o património geológico tem vindo a ganhar notoriedade, tem sido pela criação de geoparques, dispersos um pouco por todo o mundo. Em Portugal, o Geoparque Naturtejo da Meseta Meridional, associado às Redes Europeia e Global de Geoparques (UNESCO) desde 2006, abrange a área de seis concelhos da Beira Interior: Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Nisa, Proença-a-Nova, Oleiros e Vila Velha de Ródão (Carvalho, 2005). O Geoparque Arouca, que compreende a área deste concelho, integrou as redes já referidas em 2009 (Rocha *et al.*, 2008; Sá *et al.*, 2006; Sá *et al.*, 2008). Actualmente, existem outros projectos de criação de geoparques, em diversos estados de evolução. Numa fase ainda preliminar, encontram-se os projectos para o estabelecimento do Geoparque de Porto Santo (Cachão *et al.*, 2003; Silva & Gomes, 2003) e do Geoparque Açores (Lima, 2007).

Na interface entre o património geológico, a exploração de recursos geológicos e os aspectos histórico-culturais associados, surge o património geomineiro. Cordeiro (2009) apresenta uma resenha do que mais significativo tem ocorrido em Portugal no que respeita a iniciativas de conservação deste tipo de património. As estratégias para a sua identificação e conservação, apesar de serem específicas para este tipo de espólio podem, em algumas situações, coincidir com acções de geoconservação.

Finalmente, merece destaque uma referência ao modo como a geoconservação tem vindo a ganhar espaço em Portugal, no âmbito dos diversos níveis de ensino. Os *curricula* actualmente em vigor no ensino secundário, quer na disciplina de Biologia-Geologia do 10º e 11º anos, como na disciplina de Geologia do 12º ano, referem termos como *património geológico* e *geomonumento*. Ao nível universitário, existem presentemente disciplinas de opção relacionadas com a geoconservação em licenciaturas de Geologia, Biologia-Geologia e Geografia de diversas universidades portuguesas. A nível de mestrado, de referir o curso em Património Geológico e Geoconservação da Universidade do Minho, criado em 2005, que tem vindo a formar técnicos especializados nesta nova área temática (Pereira *et al.*, 2008). Em cursos de mestrado de outras universidades relacionados com as Geociências, existem disciplinas/módulos de geoconservação. Têm sido desenvolvidas teses de mestrado relacionadas com esta área temática em diversas universidades, no âmbito de outros cursos de mestrado de Geociências/Geografia. No que diz respeito a doutoramentos, apesar de ainda não existir um curso de 3º ciclo específico nesta área, já foram desenvolvidas algumas teses focadas em diversos aspectos da geoconservação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho insere-se no projecto “Identificação, caracterização e conservação do património geológico: uma estratégia de geoconservação para Portugal” (PTDC/CTE-GEX/64966/2006), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

REFERÊNCIAS

- Araújo E. (2005) – Geoturismo: conceptualização, implementação e exemplo de aplicação ao vale do Rio Douro no sector Porto-Pinhão. Tese de Mestrado em Ciências do Ambiente, Univ. do Minho, 213 p.
- Brilha J. (2002) – Geoconservation and protected areas. *Environmental Conservation*, 29 (3), 273-276.
- Brilha J. (2005) – Património Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Palimage Editores, Viseu, 190 p.
- Brilha J., Balbino R., Coelho R., Cunha P.P., Pimentel N., Pereira R., Quintas S. (2005a) – Geoconservation and education for sustainability: an example based in three portuguese protected areas. Abstracts of the IV International Symposium ProGEO, Braga, Portugal, p. 128.
- Brilha J., Andrade C., Azerêdo A., Barriga F.J.A.S., Cachão M., Couto H., Cunha P.P., Crispim J.A., Dantas P., Duarte L.V., Freitas M.C., Granja M.H., Henriques M.H., Henriques P., Lopes L., Madeira J., Matos J.M.X., Noronha F., Pais J., Piçarra J., Ramalho M.M., Relvas J.M.R.S., Ribeiro A., Santos A., Santos V., Terrinha P. (2005b) – Definition of the Portuguese frameworks with international relevance as an input for the European geological heritage characterisation. *Episodes*, Vol. 28, No 3, 177-186.
- Brilha J. (2006) – Proposta metodológica para uma estratégia de geoconservação. Livro de resumos do VII Congresso Nacional de Geologia, J. Mirão e A. Balbino (Coord.), Estremoz, 925-927.
- Brilha J., Dias G. & Pereira D. (2006) – A geoconservação e o ensino/aprendizagem da Geologia. Resumos do Simpósio Ibérico do Ensino da Geologia, XIV Simpósio sobre Enseñanza de la Geologia, XXVI Curso de Actualização de Professores de Geociências, Univ. de Aveiro, 445-448.
- Brilha J. (2008) – Geoconservation Awards: a way to promote geological heritage in Portugal. Proc. 5th International Symposium ProGEO on the Conservation of the Geological Heritage, Rab, Croatia, 13-14.

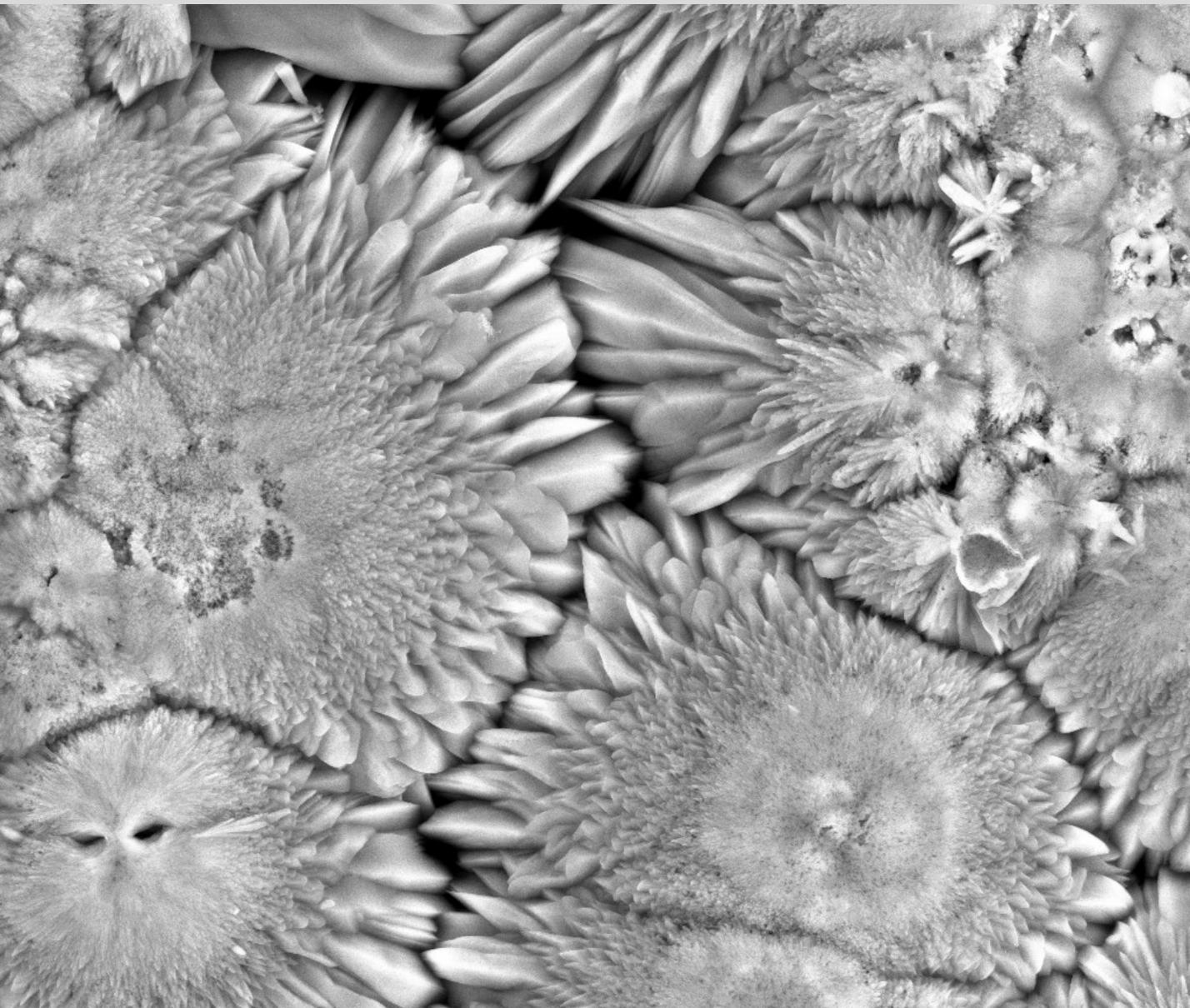
- Brilha J., Barriga F., Cachão M., Couto M.H., Dias R., Henriques M.H., Kullberg J.C., Medina J., Moura D., Nunes J.C., Pereira D.I., Pereira P., Prada S., Sá A. (2008) – Geological heritage inventory in Portugal: implementing geological frameworks. Proc. 5th International Symposium ProGEO on the Conservation of the Geological Heritage, Rab, Croatia, 93-94.
- Brilha J. (2010) – Enquadramento legal de suporte à protecção do património geológico em Portugal. In: J.M. Coteló Neiva, António Ribeiro, Mendes Victor, Fernando Noronha, Magalhães Ramalho, Eds, Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História, 2010, Porto, Vol II, p. 443-450.
- Burek C.V. & Prosser C.D. (Edts) (2008) – The history of geoconservation. Geological Society special publication, No. 300, Geological Society, London, 312 p.
- Cachão M., Rodrigues D., Silva C.M. (2003) – Porto Santo geodiversity and geological heritage. II Symposium of Island Ecosystems, Centre for Macaronesian Studies, University of Madeira, 143-146.
- Carvalho C.N. (2005) – Inventário dos Georrecursos, medidas de Geoconservação e estratégias de promoção geoturística na Região Naturtejo. Cruziana'05, Actas do Encontro Internacional sobre Património Paleontológico, Geoconservação e Geoturismo, Idanha-a-Nova, 46-69.
- Coelho R.J. (2003) – Aspectos geológicos do Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros e sua divulgação multimédia - um contributo para o ensino das Ciências da Terra. Tese de Mestrado em Geociências, Univ. de Coimbra, 233 p.
- Cordeiro J.M.L. (2010) – Património geomineiro em Portugal. In: J.M. Coteló Neiva, António Ribeiro, Mendes Victor, Fernando Noronha, Magalhães Ramalho, Eds, Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História, 2010, Porto, Vol II, p. 483-490.
- Dias G., Brilha J., Pereira D.I., Alves M.I.C., Pereira P., Pereira E., Ferreira N., Meireles C., Castro P., Pereira Z. (2005) – Geologia e património geológico dos Parques Naturais de Montesinho e do Douro Internacional (Nordeste de Portugal): Resultados de um projecto de investigação. Resumos do Encontro Ibérico sobre Património Geológico Transfronteiriço na região do Douro, Freixo de Espada à Cinta, Portugal, 89-93.
- Dowling R.S. & Newsome D. (Edts.) (2006) – Geotourism. Elsevier, Amsterdam, 260 p.
- Ferreira N., Brilha J., Dias G., Castro P., Alves M.I.C., Pereira D. (2003) – Património Geológico do Parque Natural do Douro Internacional (NE de Portugal): Caracterização de Locais de Interesse Geológico. Ciências da Terra, volume especial V, CD-ROM, I40-I42.
- Flores F.M. (1939) – A Protecção da Natureza – Directrizes Actuais. Revista Agronómica, vol. XXVII(1), 1–125.
- Galopim de Carvalho A.M. (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, Tomo 84, Fasc. 2, G3–G5.
- Galopim de Carvalho A.M. (1999) – Geomonumentos. Liga de Amigos de Conímbriga, Lisboa, 30 p.
- Galopim de Carvalho A.M. (2008) – Fora de Portas – Memórias e Reflexões. Âncora Editora, 493 p.
- Gray M. (2004) – Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. John Wiley and Sons, Chichester, England, 434 p.
- Henriques M.H.P. (2010) – O Ano Internacional do Planeta Terra e a Educação para a Geoconservação. In: J.M. Coteló Neiva, António Ribeiro, Mendes Victor, Fernando Noronha, Magalhães Ramalho, Eds, Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História, 2010, Porto, Vol II, p. 465-474.
- Lima E. (2007) – Património geológico dos Açores: valorização de locais com interesse geológico das áreas ambientais, contributo para o ordenamento do território. Tese de Mestrado em Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental, Univ. dos Açores, 106 p.
- Mc Keever P. & Zouros N. (2005) – Geoparks: Celebrating Earth heritage, sustaining local communities. Episodes, Vol. 28, No.4, 274-278.
- Missotten R. & Patzak M. (2006) – Global Network of National Geoparks. Abs. of the 2nd UNESCO International Conference on Geoparks, Belfast/Ireland, p. 153.
- Pereira D. (2010) – Geoturismo e Geoparques em Portugal. In: J.M. Coteló Neiva, António Ribeiro, Mendes Victor, Fernando Noronha, Magalhães Ramalho, Eds, Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História, 2010, Porto, Vol II, p. 475-481.
- Pereira D., Brilha J., Dias G. (2008) – Master's course on Geological Heritage and Geoconservation. European Geologist, No. 26, 29-31.
- Pereira P. (2006) – Património geomorfológico : conceptualização, avaliação e divulgação : aplicação ao Parque Natural de Montesinho. Tese de Doutoramento, Univ. do Minho, 370 p.
- Ramalho M. (2004) – Património Geológico Português – importância científica, pedagógica e sócio-económica. Geonovas, nº 18, 5-12.
- Ramalho M., Laiginhas C., Loureiro M., Silva F. (2005) – O projecto Geo-sítios e a divulgação do património geológico nacional. Geonovas nº 19, 79-81.
- Rocha D. (2008) – Inventariação, caracterização e avaliação do Património Geológico do Concelho de Arouca. Tese de Mestrado em Património Geológico e Geoconservação, Univ. do Minho, 159 p.
- Rocha D., Brilha J., Sá A.A. (2008) – A inventariação e a avaliação do património geológico na fundamentação científica do Geoparque Arouca (Norte de Portugal). Memórias e Notícias, Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, nº 3 (nova série), 507-514.
- Rodrigues J. (2008) – O património geológico no Parque Natural do Douro Internacional: inventariação, quantificação da relevância e estratégias de valorização dos geossítios. Tese de Mestrado em Património Geológico e Geoconservação, Univ. do Minho, 187 p.
- Sá, A.A., Brilha J., Cachão M., Couto H., Medina J., Rocha D., Valério M., Rábano I., Gutiérrez-Marco J.C. (2006) – Geoparque Arouca: um novo projecto para o desenvolvimento sustentado baseado na conservação e promoção do Património Geológico. Livro de resumos do VII Congresso Nacional de Geologia, J. Mirão e A. Balbino (Coord.), Estremoz, 893-896.
- Sá A.A., Brilha J., Rocha D., Couto H., Rábano I., Medina J., Gutiérrez-Marco, J.C., Cachão M., Valério M. (2008) – Geoparque Arouca. Geologia e Património Geológico. Câmara Municipal de Arouca, Arouca, 127 p.

- Silva J. & Gomes C. (2003) – Património geológico da ilha de Porto Santo: proposta para a criação de um Geoparque. Ciências da Terra, Volume especial V, I53-I55.
- Silva P. (2007) – Inventariação do Património Geológico do Concelho de Vieira do Minho e sua utilização com fins didáticos. Tese de Mestrado em Património Geológico e Geoconservação, Univ. do Minho, 190 p.
- Zouros N. (2004) – The European Geoparks Network. Geological heritage protection and local development. Episodes, Vol. 27, No.3, 165-171.

Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História

Volume II

Geologia Aplicada



Publicação Comemorativa do "ANO INTERNACIONAL DO PLANETA TERRA"

Associação Portuguesa de Geólogos
Sociedade Geológica de Portugal

J.M. Cotelo Neiva, António Ribeiro, Mendes Victor, Fernando Noronha, Magalhães Ramalho

O ANO INTERNACIONAL DO PLANETA TERRA E A EDUCAÇÃO PARA A GEOCONSERVAÇÃO

THE INTERNATIONAL YEAR OF PLANET EARTH AND THE EDUCATION FOR GEOCONSERVATION

M. H. Paiva Henriques¹

RESUMO

Promover uma educação científica para desenvolvimento sustentável requer intervenções educativas inovadoras, que mobilizem conhecimento em Ciências da Terra, designadamente em Geoconservação, capazes de tornarem os cidadãos mais aptos a enfrentarem problemas ambientais como os que decorrem da depleção de recursos geológicos – e que ameaçam o Património Geológico da Terra –, bem como a tomarem decisões quotidianas, fundamentadas e responsáveis, nomeadamente em contextos de proposição e classificação de Monumentos Naturais, ou de implementação de Geoparques.

PALAVRAS-CHAVE: Ano Internacional do Planeta Terra, Educação para Desenvolvimento Sustentável, Ciências da Terra, Geoconservação

ABSTRACT

Promoting scientific education for sustainable development requires new educational approaches involving Earth Sciences, namely on Geoconservation, in order to provide citizens with the tools to face environmental problems, as those arising from the depletion of the geological resources – which seriously threatens the Geological Heritage of the Earth – and the information, skills, and will to make future-oriented choices, like supporting the legal protection of Natural Monuments and/or the implementation of Geoparks.

KEY-WORDS: International Year of Planet Earth, Education for Sustainable Development, Earth Sciences, Geoconservation.

INTRODUÇÃO

Os estilos de vida dos europeus e da generalidade dos cidadãos de países industrializados assentam em elevados padrões de consumo, nomeadamente de energia e de recursos geológicos, e na produção crescente de resíduos. Portugal não é excepção. Só em 2006, a indústria extractiva (minerais, rochas e águas subterrâneas) atingiu níveis de produção com valores superiores a mil milhões de euros (Pereira et al., 2008b). Dos impactos ambientais associados a esta realidade, destaca-se a transformação profunda da superfície terrestre. Na Europa, 47% do território é utilizado na agricultura, 36% está ocupado por floresta e 17% tem outros usos, designadamente os urbanísticos e os que se referem à instalação de grandes infra-estruturas, com conseqüente perda das funções naturais inerentes à superfície sólida da Terra (EEA, 2005), e inevitável destruição da sua geodiversidade (Gray, 2004; Brilha, 2005; Pereira et al., 2008b).

Estima-se que, se nos próximos cinquenta anos, a população dos países em desenvolvimento, atingir estilos de vida equiparáveis aos que hoje se reconhecem nos países industrializados, o consumo de recursos atingirá valores duas a cinco vezes superiores aos actuais (EEA, 2005), reforçando ideias correntes, segundo as quais, “O Homem move actualmente mais materiais na superfície terrestre do que todos os agentes erosivos naturais” (AIPT, 2007a, p. 4).

Neste contexto, o Património Geológico da Terra, que integra “georrecurso culturais”, isto é, georrecurso não-renováveis, de índole cultural (Elizaga Muñoz, 1988), que cabe a todos os cidadãos a responsabilidade de preservar para as gerações futuras, impõe novos desafios a todos os sectores da

¹ Coordenadora do Comité Português para o Ano Internacional do Planeta Terra. Departamento de Ciências da Terra e Centro de Geociências da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; hhenriq@dct.uc.pt

sociedade (políticos, empresários, educadores, meios de comunicação social), incluindo os grupos profissionais cuja actividade se centra na produção e aplicação de conhecimentos inerentes às Ciências da Terra. Por um lado, urge melhorar os métodos de exploração dos recursos geológicos, tarefa que compete aos profissionais das Geociências, que devem, em articulação com detentores de outros saberes, orientar nesse sentido a sua actividade (AIPT, 2007b; Henriques, 2008a), concebendo e implementando novas tecnologias e instrumentos mais eficientes para a extracção e exploração de georrecursos, como meta para a sua utilização sustentável, temática em destaque no Programa Científico do Ano Internacional do Planeta Terra, actualmente em curso. Por outro lado, impõem-se mudanças significativas nos padrões de consumo de todos os cidadãos, que uma educação que apele à construção “de um mundo no qual todos tenham a oportunidade de aceder a uma educação e adquirir valores que fomentem práticas sociais, económicas e políticas de sustentabilidade” (CNU, 2006, p. 11), pode potenciar. Mas tal implica rupturas com os sistemas educativos tradicionais (UNESCO, 2008a), e requer reorientações profundas na educação – formal e não-formal –, que permitam contribuir para a formação de cidadãos informados, participativos e comprometidos com uma gestão responsável do planeta e dos seus recursos, numa perspectiva de desenvolvimento sustentável (Henriques, 2008a). Tal ambição converge em pressupostos que levaram à proclamação, pela Assembleia-Geral das Nações Unidas, do decénio 2005-2014 como a Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (UNESCO, 2008a), iniciativa em que se enquadra o Ano Internacional do Planeta Terra, cujo objectivo é aproximar as Ciências da Terra de todos os cidadãos (Mulder et al., 2006).

A DÉCADA DAS NAÇÕES UNIDAS DA EDUCAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (2005-2014)

Em Dezembro de 2002, a Assembleia-Geral das Nações Unidas aprovou a Resolução 57/254 e proclamou a Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (DNUEDS), para o período 2005-2014, tendo designado a UNESCO para liderar o respectivo processo de implementação (UNESCO, 2008a; CNU, 2006). O objectivo principal desta iniciativa consiste em integrar, em todas as dimensões da educação, princípios, valores e práticas de desenvolvimento sustentável, que estimulem mudanças de comportamento capazes de criar um futuro mais sustentável, em termos de integridade ambiental e viabilidade económica, e uma sociedade mais justa, quer no presente, quer para as gerações futuras (UNESCO, 2008a). Destacando a promoção de uma educação incorporando valores, a DNUEDS releva o respeito – pelos outros, pelas gerações presentes e futuras, pelo planeta e por aquilo que ele nos proporciona (recursos, fauna e flora) – como o valor fundamental na formação de cidadãos mais aptos a tomarem decisões quotidianas, fundamentadas e responsáveis, que visem a mitigação dos problemas que afectam as sociedades contemporâneas. Nestes, incluem-se os que decorrem da depleção de recursos geológicos, cuja exploração interfere directamente com a integridade dos objectos naturais com valor patrimonial, de que o Património Geológico da Terra constitui parte integrante (Oliveira, 2000; Oliveira e Henriques, 2000; Henriques, 2004; Brilha, 2005; Henriques, 2006).

Num mundo com “um forte aumento da população mundial [e] com uma ânsia voraz no consumo de toda a espécie de recursos (a maior parte deles não renováveis)” (Brilha, 2007, p.13), a preservação dos “Direitos à Memória da Terra”, consubstanciada na Declaração de Digne (DD, 1991), impõe responsabilidades acrescidas a todos os cidadãos, sobretudo aos que integram sociedades fortemente consumistas de recursos geológicos. Por exemplo, na Alemanha, a taxa de utilização do território para fins urbanísticos atingiu, em 2003, 93 ha por dia (EEA, 2005), à custa, naturalmente, de exploração intensa de recursos minerais, o que conduz, “inevitavelmente, a uma destruição de parte importante da geodiversidade” do planeta (Brilha, 2005, p. 41).

Os conflitos entre os que reclamam a manutenção da integridade física de objectos geológicos com valor patrimonial – designadamente as comunidades científicas – e os que pretendem a sua utilização, para fins que podem contribuir para a sua delapidação, são constantes (Henriques, 2006), e tenderão a aumentar no futuro, face à procura crescente de recursos geológicos por parte da indústria extractiva. Nesse contexto, os poderes políticos serão cada vez mais confrontados com a necessidade de mediar tais conflitos – que implicam estabelecer equilíbrios delicados entre interesses económicos e responsabilidades sociais – e de tomarem decisões, responsáveis e fundamentadas, sobre o uso sustentável dos recursos geológicos. Para tal, necessitam de mobilizar e utilizar conhecimento científico acerca do planeta, designadamente em Ciências da Terra, competências que dificilmente se podem reconhecer na classe política portuguesa – a julgar pelas formações académicas dos membros dos últimos governos

constitucionais (Tabela 1) – e, de uma forma geral, em todos os cidadãos. O défice de compreensão pública das geociências na sociedade portuguesa manifesta-se, por exemplo, na fraca presença de temas relacionados com geociências nos meios de comunicação social (Tabela 2; Henriques, 2001), a que acrescem lacunas recorrentes no estabelecimento de interrelações entre problemas ambientais actuais – que quotidianamente inundam as agendas mediáticas – e competências dos geocientistas para os ajudar a mitigar, designadamente em matéria de utilização sustentável dos recursos naturais da Terra (Gutiérrez-Alonso et al., 2008) ou de conservação do seu património natural. Uma tal incapacidade de mobilizar e utilizar conhecimento científico, “com o objectivo de entender e ajudar a tomar decisões sobre o mundo natural e as transformações nele operadas através da actividade humana” (Harlen, 2002, p. 210), limita os cidadãos de participarem em processos democráticos de tomadas de decisão (Membiela, 2002), – de que os complexos procedimentos que envolvem a classificação de Áreas Protegidas (integradas na Rede Nacional de Áreas Protegidas do Sistema Nacional de Áreas Classificadas, entidade constituinte da Rede Fundamental da Conservação da Natureza, cf. Decreto-Lei n.º 142/2008 de 24 de Julho) constituem exemplo (Henriques et al., 2007) – privando-os de assumir uma cidadania activa e responsável (Henriques, 2006), preocupação fundamental subjacente à DNUEDS.

Tabela 1 – Formação académica dos membros do XV Governo Constitucional Português (retirados de Brilha, 2004) e do XVI Governo Constitucional Português (baseados nos currículos disponíveis no Portal do Governo (2008).

Formação académica	Direito, Ciências Políticas	Economia, Gestão	Humanidades	Ciências e Tecnologia
Ministros do XV Governo Constitucional	44%	33%	6%	17%
Ministros do XVI Governo Constitucional	23%	29%	23%	23%

Tabela 2 – Frequência relativa de notícias sobre temáticas científicas publicadas na secção de Ciências nos 30 números do mês de Janeiro de 1998 da edição de Lisboa do jornal “Público”. No ano de 1998 – proclamado pelas Nações Unidas como “Ano Internacional dos Oceanos” – realizou-se em Lisboa a Expo 98, dedicada ao tema “Os oceanos, um património para o futuro”, o que justifica a forte presença da temática “Oceanos”, neste meio de comunicação social de referência (Henriques, 2001).

Temas	Nº de notícias	% Relativa
Oceanos	16	20
Astronomia	18	60
Dinossáurios	3	10
Antropologia	2	7
Sismos	1	3

Urge, assim, que os agentes educativos de todos os níveis de ensino, incluindo os que integram instituições de ensino superior – cenário de “formação de quadros superiores e dirigentes de diversas instituições e organismos, públicos e privados, e de dirigentes políticos”, bem como de “intervenção na qualificação para os outros níveis de ensino” (Pedrosa e Moreno, 2007, p. 17) – procurem integrar, nas suas práticas docentes, aspectos que promovam o respeito, a valorização e a preservação de testemunhos do Passado da Terra, preocupação central da Geoconservação, e que contribuam para melhorar, cuidar e recuperar o estado do planeta, em consonância com perspectivas que fundamentam a visão e a definição de educação para desenvolvimento sustentável (UNESCO, 2008b).

Mas as abordagens tradicionais à temática da conservação da natureza contemplam, sobretudo, aspectos e preocupações relativos à perda da biodiversidade. Nas políticas de conservação da natureza, a conservação da geodiversidade também não tem constituído prioridade, a par das medidas de conservação da biodiversidade, o que se traduz, por exemplo, na existência, em Portugal, de Áreas Protegidas que correspondem a cerca de 7% do território continental, mas que, na sua maioria, foram classificadas por razões predominantemente biológicas e/ou paisagísticas (Oliveira, 2000; Oliveira e Henriques, 2000; Henriques, 2004). O Património Geológico português, circunscrito praticamente à figura de Monumento

Natural, representa, apenas, cerca de 0,1% da área total do país, facto que se correlaciona com a vigência de um quadro legal que subestima, de forma significativa, a vertente geológica da conservação da natureza (Henriques, 2007; Henriques et al., 2007), e que resulta de avaliações do Património Geológico assentes em estratégias de conservação da natureza que marginalizam o seu grau de relevância (Reis e Henriques, 2006).

Compete, pois, aos profissionais das Ciências da Terra, sobretudo aos que integram comunidades científico-educativas, a responsabilidade de demonstrarem, a todos os agentes sociais (desde os políticos aos meios de comunicação social), que a mitigação de problemas ambientais actuais, como os que resultam da utilização não-sustentável dos recursos naturais da Terra, e que põem em risco a sua geodiversidade, passa pela valorização do conhecimento que continuamente produzem acerca do planeta e da sua dinâmica – e que é frequentemente sub-utilizado –, contrariando imagens públicas de geocientistas, que associam estes profissionais “a românticos colecionadores e colectores de fósseis ou viajantes empedernidos na busca de estranhas rochas e minerais” (Gutiérrez-Alonso et al., 2008, p. 122).

Aproximar as Ciências da Terra dos cidadãos, relevando o seu potencial na construção de uma sociedade mais segura, saudável e próspera, constitui justamente o objectivo central do Ano Internacional do Planeta Terra, actualmente em curso (Calvo, 2006; Mulder et al., 2006; AIPT, 2007a, c; Brilha, 2007; Henriques, 2008b; Henriques et al., 2008a). A iniciativa releva o papel da educação científica, designadamente em Ciências da Terra, na formação de cidadãos comprometidos com a sustentabilidade do planeta e dos seus recursos, e destaca o valor dos “Geoparques” como instrumentos públicos de conservação e desenvolvimento (Eder e Mulder, 2008; Henriques, 2008a, c).

2008 - ANO INTERNACIONAL DO PLANETA TERRA

Em 22 de Dezembro de 2005, a Assembleia-Geral das Nações Unidas proclamou oficialmente 2008 como o Ano Internacional do Planeta Terra (AIPT), iniciativa integrada na DNUEDS (2005-2014), actualmente em curso, e cuja implementação, a nível global, é partilhada entre a UNESCO e a IUGS (Mulder et al., 2006). Centrada em 2008, a iniciativa desenvolve-se ao longo do triénio 2007-2009, assente no slogan “Ciências da Terra para a Sociedade”, e tem por grande meta, por um lado, demonstrar, a todos os cidadãos, o grande potencial das Ciências da Terra na construção de uma sociedade mais segura, saudável e próspera, e por outro, encorajar a sociedade a aplicar este potencial de forma mais efectiva (Fig. 1).



Figura 1 – O logótipo oficial do Ano Internacional do Planeta Terra, em língua portuguesa, incluindo a versão em braille. A coroa circular interna, a vermelho, representa a litosfera; as partes seguintes representam a biosfera (a verde), a hidrosfera (azul escuro) e a atmosfera (azul claro), numa expressão clara da interdependência destes quatro geossistemas e da necessidade de, para a compreensão do seu funcionamento, serem estudados de forma integrada (AIPT, 2007c; Henriques, 2008a; IYPE, 2008a,b).

Reduzir os riscos para a sociedade que decorrem de desastres naturais e induzidos pelas actividades humanas, melhorar os conhecimentos relativos à ocorrência de recursos naturais (como a água subterrânea, os hidrocarbonetos ou os recursos minerais) e que são frequentemente objecto de tensões políticas entre países vizinhos, descobrir novos recursos naturais e disponibilizá-los de forma sustentável, estimular o interesse pelas Ciências da Terra, são alguns dos objectivos gerais que se pretendem atingir com a implementação do AIPT, actualmente em curso, aos quais se associam outros, como aumentar o número de alunos nas licenciaturas que se referem a essa área do conhecimento, bem como o investimento em investigação e ensino de geociências. (Mulder et al., 2006; Henriques, 2008a,b; Henriques et al., 2008a).

Estruturado em dois Programas – Científico e de Divulgação – que contemplam um conjunto de temáticas que remetem para problemáticas ambientais de relevância social, que afectam o planeta, os seus recursos e o modo de vida dos cidadãos (AIPT, 2007a), o AIPT é hoje uma iniciativa que decorre à escala global, coordenada por 75 Comités Nacionais em todo o mundo (IYPE, 2008b), entre os quais o Comité Português para o AIPT, criado em Abril de 2007, sob a égide da Comissão Nacional da UNESCO (CPAIPT, 2008; Henriques et al., 2008a).

Para a implementação, a nível nacional, dos propósitos do AIPT, o Comité Português adoptou uma estratégia visando o envolvimento de organizações que actuam em todos os sectores da sociedade portuguesa (político, económico e social), incluindo meios de comunicação social, em torno de um objectivo central: promover a consciência geral acerca do valor das Ciências da Terra na formação de cidadãos informados, participativos e comprometidos com uma gestão responsável do planeta e dos seus recursos, numa perspectiva de desenvolvimento sustentável (Henriques, 2008b; Henriques et al., 2008a).

Subscrevendo o facto de o conhecimento em Ciências da Terra – que é, ainda, em grande medida, desconhecido de grande parte dos decisores políticos (Eder e Mulder, 2008) – poder e dever ser usado na promoção de desenvolvimento sustentável (Mulder et al., 2006), o Comité Português para o AIPT procurou, igualmente, incrementar a cooperação internacional na resolução de problemas ambientais globais (AIPT, 2007a), perspectivando a sua actuação no reforço da articulação com outros Comités Nacionais da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (Henriques et al., 2008b), e dando o maior destaque à promoção de uma educação em geociências dos seus cidadãos (Henriques, 2008c), cujo Património Geológico, como recurso educativo, pode potenciar (Alfama et al., 2008). Um sistema educativo que não contemple conhecimento inerente às Ciências da Terra – essencial na compreensão do equilíbrio e da complexidade do Sistema Terrestre, do qual todos dependemos (AIPT, 2007a) –, cuja construção depende fortemente de actividades práticas de campo em locais com interesse geológico, que devem ser salvaguardados (Van Loon, 2008), representa um enorme perigo para o futuro da sociedade. Na verdade, uma sociedade que não se preocupa em conhecer os processos que modelaram a arquitectura actual do planeta em que vivem os seus cidadãos, é uma sociedade incapaz de o respeitar e de o proteger (Gutiérrez-Alonso et al., 2008).

A GEOCONSERVAÇÃO E AS CIÊNCIAS DA TERRA NA EDUCAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

As preocupações públicas com a preservação do Património Geológico da Terra – frequentemente emanadas de organizações ambientalistas – impulsionaram, no seio das Geociências, enquanto sistema de representações, a concepção e o desenvolvimento de procedimentos técnicos adequados ao seu uso e gestão, conferindo-lhes a dimensão pragmática inerente à Tecnologia, cuja natureza é distinta da da Ciência (Santos, 2001). Concepções pós-modernas de uma Ciência Geológica clássica como a Paleontologia, admitem que os conhecimentos técnicos resultantes de trabalhos com carácter não-científico, como os que são produzidos em actividades relacionadas com o uso e gestão do Património Paleontológico, podem, contudo, ser relevantes para o desenvolvimento da Paleontologia (Básica e Aplicada), tal como se expressa na Figura 2 (Fernández López, 1988, 2000).

Dado que “a ciência cria novos seres técnicos e a tecnologia cria novas linhas de objectos científicos” (Santos, 2001, p. 64), a Geoconservação, que se tem vindo a definir como uma das especialidades emergentes em instituições de ensino e investigação do âmbito das Ciências da Terra (Brilha et al., 2006, 2008; Pereira et al. 2008a), representa a crescente interdependência, nas sociedades contemporâneas, entre Ciência e Tecnologia, e define-se, progressivamente, como uma ciência geológica actual, que “mais do que um sistema de representação, é um modo de acção” (Santos, 2001, p. 64).

As suas raízes históricas remontam à criação do primeiro Parque Natural do mundo, o de Yellowstone, em 1872 (Harris et al., 1997; Gray, 2004), mas é nas duas últimas décadas que se começa a definir como corpo de conhecimentos de natureza científica, com o estabelecimento de organizações visando uma “preservação estruturada dos sítios geológicos com valor científico” (Van Loon, 2008, p. 252), de que a ProGEO constitui exemplo, ao assumir objectivos como organizar e participar em investigação, designadamente de carácter científico, que sejam relevantes para a Geoconservação (ProGEO, 2008).

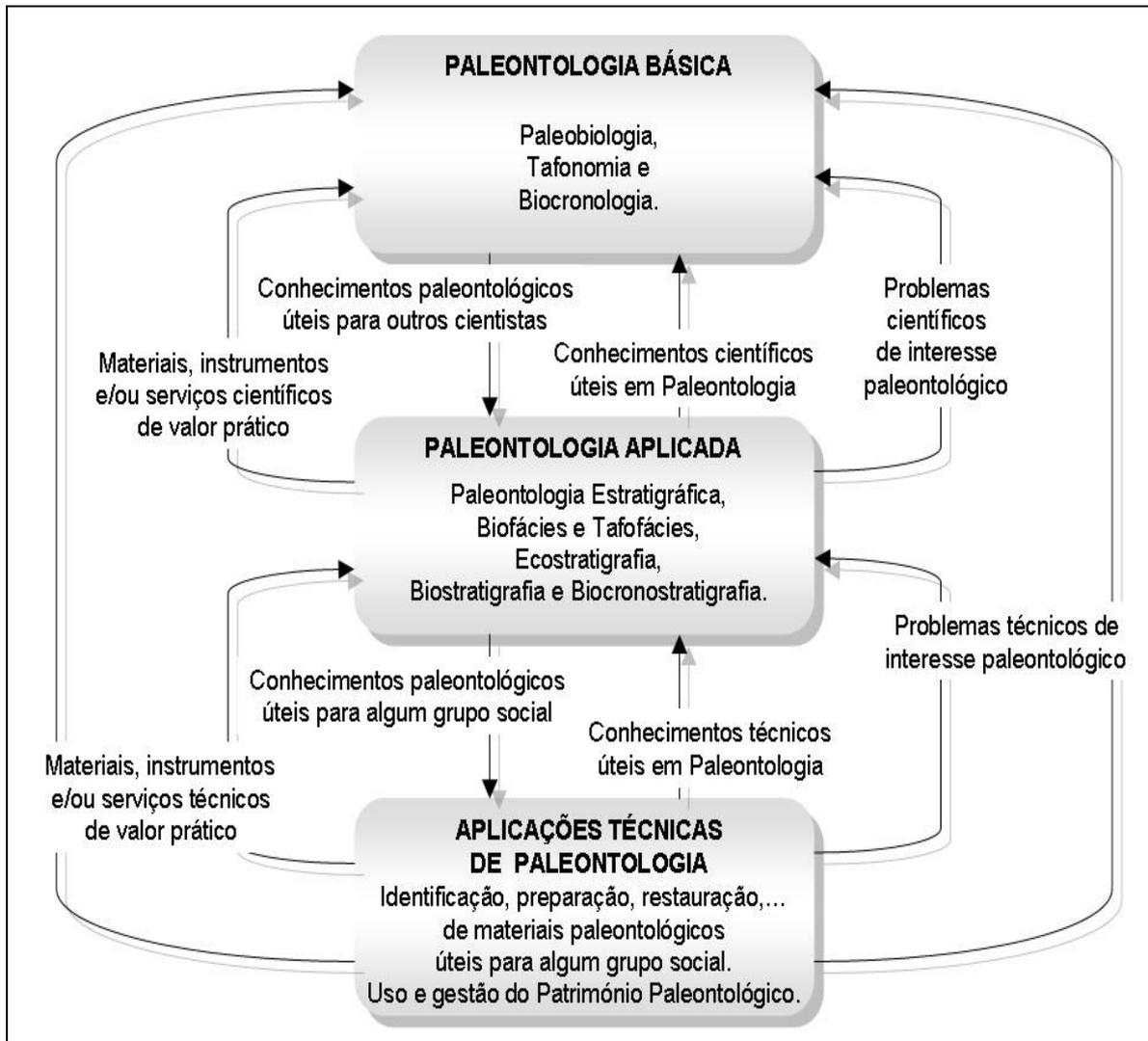


Figura 2 – Diagrama de fluxo de conhecimentos, problemas, materiais, instrumentos e/ou serviços entre a Paleontologia Básica, a Paleontologia Aplicada e as Aplicações Técnicas de Paleontologia (Fernández López, 1988, 2000; também reproduzida em Henriques, 2007).

O objecto de estudo da Geoconservação é o geossítio, isto é, um local com interesse geológico e valor patrimonial, recentemente objecto de reconhecimento jurídico em Portugal, ao abrigo do Artº 3 do Decreto-Lei n.º 142/2008 de 24 de Julho (“área de ocorrência de elementos geológicos com reconhecido valor científico, educativo, estético e cultural”). A Geoconservação visa a inventariação, avaliação (qualitativa e/ou quantitativa), conservação (através da classificação recorrendo a instrumentos legais), valorização (potenciada pela divulgação) e monitorização (periódica) do Património Geológico da Terra (Brilha, 2005), cuja definição é também contemplada no decreto anteriormente referido (“conjunto de geossítios que ocorrem numa determinada área e que inclui o património geomorfológico, paleontológico, mineralógico, petrológico, estratigráfico, tectónico, hidrogeológico e pedológico, entre outros”). A singularidade do Património Geológico da Terra constitui o princípio básico da Geoconservação, que inspirou a “Declaração Internacional dos Direitos à Memória da Terra”, assinada em Digne, em 1991 (DD, 1991). Este corpo de conhecimentos constitui o universo substantivo da Geoconservação como ciência (no sentido de Santos, 2004) e uma educação científica, com propósitos de promoção de desenvolvimento sustentável, centrada em conhecimento inerente às Ciências da Terra (Educação *em* Geociências, Henriques, 2008a), não pode deixar de o contemplar, em articulação e de forma integrada, com outras dimensões da Geoconservação, desde as de cariz epistemológico, até às que se orientam especificamente para a formação de cidadãos responsáveis e participativos (Fig. 3).

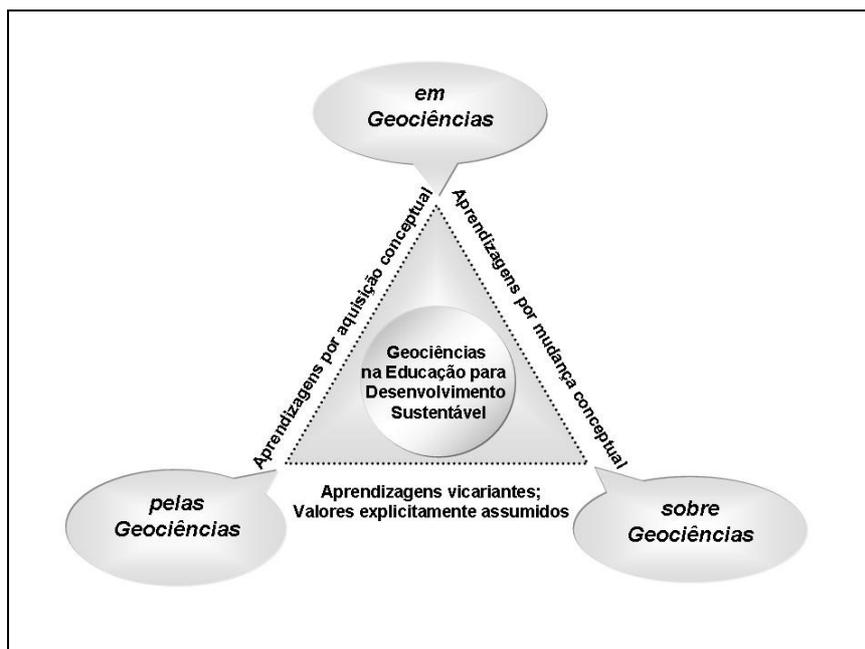


Figura 3 – Representação esquemática das três dimensões que devem integrar educação científica para a sustentabilidade, mobilizando conhecimento inerente às Geociências (adaptado de Pedrosa e Moreno, 2007 e de Henriques, 2008a), que deverá contemplar conhecimento do âmbito da Geoconservação.

A produção e validação do conhecimento na Geoconservação, tal como em outras ciências, configuram um empreendimento colectivo, fortemente dependente de contextos sociais, com contornos convencionais (mas não arbitrários) e sujeito a mudanças sistemáticas (mas não lineares) (Henriques, 2006). Assenta na existência de um conjunto de procedimentos, regulados por normas e instituições, que envolvem a apresentação e discussão de conhecimento em fóruns próprios – como sejam as universidades, que reconhecem e certificam competências específicas nesta área do conhecimento, através da atribuição de diplomas, e que acolhem reuniões científicas da especialidade (Pereira et al., 2008a) – e a sua publicação, depois de sujeito à revisão pelos pares (o “*peer review*”) em publicações científicas de credibilidade reconhecida – de que a revista “GeoHeritage”, que pretende “abarcara todos os aspectos do Património Geológico e respectiva protecção” constitui exemplo (Brilha e Wimbledon, 2008). Todos estes aspectos de cariz epistemológico, que se referem ao universo das instituições e dos procedimentos envolvidos na produção e validação do conhecimento em Geoconservação, e que constituem a sua dimensão metafísica, devem ser contemplados numa educação científica para desenvolvimento sustentável, centrada nas Geociências (Educação *sobre* Geociências, Henriques, 2008a, Fig. 5).

Mas a Geoconservação integra ainda uma importante dimensão, voltada para a formação do cidadão, e que decorre das obrigações, a que juridicamente está sujeito, tal como estipula o diploma que estabelece o regime jurídico da conservação da natureza e da biodiversidade (Decreto-Lei n.º 142/2008 de 24 de Julho), designadamente:

- a título individual, ao ser chamado a pronunciar-se directamente sobre propostas de classificação de Áreas Protegidas de âmbito nacional, regional ou local, de que os Monumentos Naturais – “uma ocorrência natural contendo um ou mais aspectos que, pela sua singularidade, raridade ou representatividade em termos ecológicos, estéticos, científicos e culturais, exigem a sua conservação e a manutenção da sua integridade” (art. 20) – fazem parte integrante;
- como membros de quaisquer entidades públicas ou privadas, designadamente autarquias locais e associações de defesa do ambiente, que podem propor a criação de Áreas Protegidas (art. 14);
- como detentores de cargos políticos, de âmbito nacional e/ou autárquico, com competências, quer na proposição, quer na classificação de Áreas Protegidas de âmbitos nacional, regional ou local (conferidas pelos Arts. 14 e 15).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Geoconservação, como área disciplinar emergente no âmbito das Ciências da Terra, produz conhecimentos necessários à resolução de problemas ambientais com relevância social, como aqueles que decorrem da depleção de recursos geológicos, e que podem pôr em perigo a integridade física do Património Geológico da Terra. Além disso, concebe instrumentos adequados e presta serviços especializados, necessários e pertinentes, para a sua mitigação. Configura, assim, um corpo de saberes fundamental na criação de produtos (e.g., geoparques) que, além de garantirem a protecção da natureza, são capazes de promover desenvolvimento económico e social, a todas as escalas, desde a local à global (e.g., através do geoturismo), indo ao encontro de concepções correntes de desenvolvimento sustentável (UNESCO, 2004).

Promover uma educação científica para desenvolvimento sustentável – objectivo fundamental da DNUEDS, ao longo do decénio 2005-2014 – requer a concepção e a implementação de intervenções educativas que mobilizem conhecimento em Ciências da Terra – propósito subjacente ao AIPT (Henriques, 2008a) –, designadamente em Geoconservação, contextualizadas em problemas que intersectam preocupações, presentes e futuras, do quotidiano dos cidadãos, que os estimulem a adoptar comportamentos sustentáveis e a exercer fundamentada e responsabilmente, no presente e no futuro, uma cidadania activa (Pedrosa e Moreno, 2007, Fig. 4).

Os geossítios, objecto de estudo da Geoconservação, constituem importantes recursos didácticos, que podem potenciar oportunidades educativas integradoras dos três universos interactivos de ensino das Geociências (Henriques, 2006, 2008a; Fig. 3), contribuindo para a formação de cidadãos comprometidos com a sustentabilidade na Terra, tornando-os mais aptos a participarem em debates acerca de problemas ambientais relacionados com desequilíbrios nos sistemas naturais, como os que decorrem da exploração desequilibrada de recursos geológicos, e que contribuem para a delapidação do Património Geológico da Terra, bem como a tomarem decisões quotidianas, fundamentadas e responsáveis, que visem a mitigação de tais problemas (Henriques, 2008a), nomeadamente em contextos de proposição e classificação de Monumentos Naturais, ou de implementação de geoparques, cujo estabelecimento e valorização depende fortemente do envolvimento dos cidadãos (Gray e Gordon, 2008).

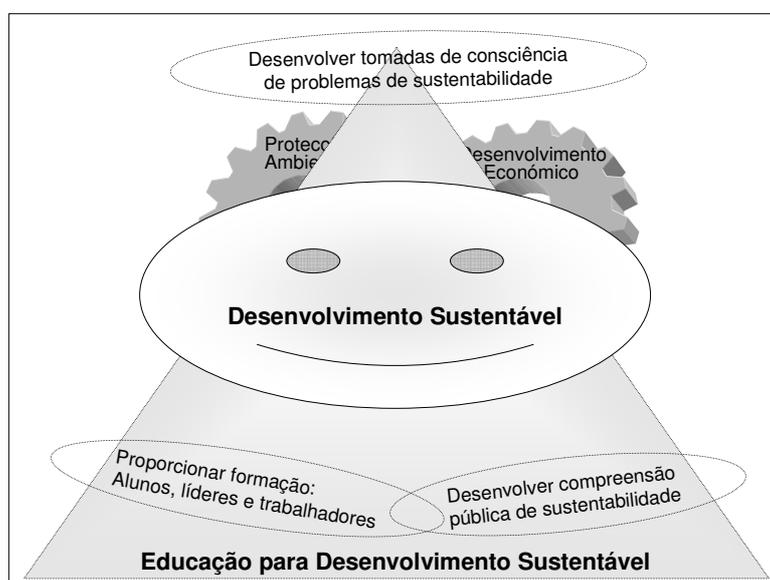


Figura 4 – Representação esquemática de requisitos de desenvolvimento sustentável e de educação consistente com tais perspectivas de desenvolvimento (Pedrosa e Moreno, 2007).

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho insere-se nas actividades do Projecto PTDC/CTE-GEX/64966/2006 – “Identificação, caracterização e conservação do património geológico: uma estratégia de geoconservação para Portugal” –, da Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

REFERÊNCIAS

- Alfama V., Gomes A.M., Brilha J. (2008) – “Guia Geoturístico da Ilha do Fogo”. Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 1-61.
- AIPT (2007a). “Ano Internacional do Planeta Terra. 1. O Planeta Terra nas nossas mãos”. Comissão Nacional da UNESCO, Lisboa, 1-16. Disponível em: www.anoplanetaterra.org/ [Acesso em: 4/12/2008].
- AIPT (2007b). “Ano Internacional do Planeta Terra. 6. Recursos – a caminho de um futuro sustentável”. Comissão Nacional da UNESCO, Lisboa, 1-16. Disponível em: www.anoplanetaterra.org/ [Acesso em: 4/12/2008].
- AIPT (2007c). “Ano Internacional do Planeta Terra. 11. Divulgação – levar as Ciências da Terra a todos”. Comissão Nacional da UNESCO, Lisboa, 1-16. Disponível em: www.anoplanetaterra.org/ [Acesso em: 4/12/2008].
- Brilha J. (2004) – “A geologia, os geólogos e o manto da invisibilidade”. Comunicação e Sociedade, Nº 6, pp. 257-265.
- Brilha J. (2005) – “Património Geológico e Geoconservação. A conservação da natureza na sua vertente geológica”. Palimage, Braga, 1-190.
- Brilha J. (2007) – “Ano Internacional do Planeta Terra: uma abordagem em contexto educativo”. In: XXVII Curso de Atualização de Professores de Geociências: Comunicações – Itinerários – Trabalhos Práticos, Memória do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Nº 11, pp. 15-18.
- Brilha J., Dias G., Pereira D. (2006) – “A geoconservação e o ensino/ aprendizagem da Geologia”. Resumos do Simpósio Ibérico do Ensino da Geologia, XIV Simpósio sobre Enseñanza de la Geologia, XXVI Curso de Actualización de Profesores de Geociências, Universidade de Aveiro, pp. 445-448.
- Brilha J., Pereira D., Dias G. (2008) – “A geoconservação como uma oportunidade para a cooperação entre países lusófonos: a experiência da universidade do Minho”, Conf. Intern. “As Geociências no Desenvolvimento das Comunidades Lusófonas”, Universidade de Coimbra, Memórias e Notícias, Coimbra, Nº 3 (Nova Série), pp. 433-440.
- Brilha J., Wimbledon W. eds. (2008) – “Geoheritage”, Springer, Berlin / Heidelberg, Disponível em: <http://www.springer.com/earth+sciences/geology/journal/12371> [Acesso em: 30/12/2008].
- Calvo J.P. (2006) – “El Año Internacional del Planeta Tierra”. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, Vol. 14, Nº 4, pp. 21-25.
- CPAIPT (2008) “Comité Português para o Ano Internacional do Planeta Terra”. Disponível em: www.anoplanetaterra.org [Acesso em: 30/12/2008].
- CNU (2006) – “Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (2005-2014). Contributos para a sua dinamização em Portugal”, Comissão Nacional da UNESCO, Lisboa, 1-36. Disponível em: <http://www.unesco.pt/pdfs/docs/LivroDEDS.doc> [Acesso em: 4/12/2008].
- DD (1991) – “Declaração Internacional dos Direitos à Memória da Terra (Digne, 1991)”, trad. M. M. Ramalho, Comum. Serv. Geol. Portugal, t. 77, pp. 147-148.
- Eder W., Mulder E. (2008) – “Declaração de Paris”. Comité Português para o Ano Internacional do Planeta Terra, AIPT, Declaração apresentada no Evento de Lançamento Global do Ano Internacional do Planeta Terra. Disponível em: www.anoplanetaterra.org [Acesso em: 26/12/2008].
- EEA (2005) – “Sustainable use and management of natural resources”. European Environment Agency, Copenhagen, 1-68. Disponível em: http://www.eurosfair.pr.fr/7pc/doc/1136560259_eea_report_9_2005.pdf [Acesso em: 5/12/2008].
- Elizaga Muñoz E. (1988) – “Georrecursos culturales”. In: Geología Ambiental, ITGE, 1ª Ed., Madrid, pp. 85-100.
- Fernández López S. (1988) – “Biostratigrafía y Biocronología: su desarrollo histórico”. In: Curso de Conferencias sobre Historia de la Paleontología, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Historia de la Ciencia, Historia de la Paleontología, pp. 185-215.
- Fernández López S. (2000) – “Temas de Tafonomía”, Departamento de Paleontología, Univ. Complut. Madrid, 1-167.
- Gray M. (2004) – “Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature”. Wiley J and Sons, Chichester, 1-434.
- Gray M., Gordon J. (2008) – “Geodiversity and the sustainable development of the regions”. European Geologist, Nº 25, pp. 28-30.
- Gutiérrez-Alonso J., Brendan Murphy J., Fernández-Suárez J. (2008) – “El Año del Planeta Tierra: lo que Conocemos y lo que desconocemos de nuestro planeta”, Pliegos de Yuste, Revista de Cultura y Pensamiento Europeos, Fundación Academia Europea de Yuste, Nº 7-8, pp. 111-122.
- Harlen W. (2002) – “Evaluar la alfabetización científica en el programa de la OECD para evaluación internacional de estudiantes (PISA). Enseñanza de las ciencias, Vol. 20, Nº 2, pp. 209-216.
- Harris A. G., Tuttle E., Tuttle S.D. (1997) – “The Geology of National Parks”, Kendall/Hunt Publ. Comp., 5th ed., Dubuque, 1-759.
- Henriques M.H. (2001) – “A Ciência e os Media: a Geologia e o "Público" de Janeiro de 1998. Actas da II Conf. Intern. Challenges '2001/Desafios '2001, Centro de Competência Nónio Século XXI da Universidade do Minho, pp. 177-198.
- Henriques M.H. (2004) – “Jurassic Heritage of Portugal – State of the Art and Open Problems”. Riv. Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, Vol. 10, Nº 1, pp. 389-392.
- Henriques M.H. (2006) – “O Bajociano do Cabo Mondego como recurso educativo de geociências”. In: As Ciências da Terra ao Serviço do Ensino e do Desenvolvimento: o Exemplo da Figueira da Foz, Kiwanis Clube da Figueira da Foz, pp. 51-61.
- Henriques M.H. (2007) – “Paleontologia – Uma ponte entre as Geociências e a Sociedade”. In: Paleontologia: Cenários de Vida, Vol. 2, Editora Interciência, Rio de Janeiro, pp. 41-49.
- Henriques M.H., Lopes D.R., Araújo P.R.B.L., Schwanke, C. (2007) – “A Geoconservação do Património Paleontológico em Portugal e no Brasil: Semelhanças, Diferenças e Consequências”. In: Paleontologia: Cenários de Vida, Vol. 2, Editora Interciência, Rio de Janeiro, pp. 171-183.

- Henriques M.H. (2008a) – “Ano Internacional do Planeta Terra e Educação para a Sustentabilidade”. In: *Ciência-Tecnologia-Sociedade no Ensino das Ciências – Educação Científica e Desenvolvimento Sustentável*, Universidade de Aveiro, pp. 110-116.
- Henriques M.H. (2008b) – “Ciências da Terra para a Sociedade”. *Cadernos de Economia*, Nº 82, pp. 54-56.
- Henriques M.H. (2008c) – “Declaração de Coimbra sobre o Desenvolvimento das Geociências na Comunidade dos Países de Língua Portuguesa”, Conf. Intern. “As Geociências no Desenvolvimento das Comunidades Lusófonas”, Universidade de Coimbra, *Memórias e Notícias*, Coimbra, Nº 3 (Nova Série), pp. 539-542. Disponível em: www.anoplanetaterra.org [Acesso em: 26/12/2008].
- Henriques M.H., Guimarães F.A., Ribeiro A., Sá A., Moura D., Silva E., Brilha J., Galhardo M., Cachão M., Ramalho M. (2008a) – “O Ano Internacional do Planeta Terra em Portugal”, Conf. Intern. “As Geociências no Desenvolvimento das Comunidades Lusófonas”, Universidade de Coimbra, *Memórias e Notícias*, Coimbra, Nº 3 (Nova Série), pp. 85-92.
- Henriques M.H., Lopes F.C., Catarino L., Duarte L.V., Rodrigues N. & Andrade A.I. ed. (2008b) – “As Geociências no Desenvolvimento das Comunidades Lusófonas”. *Memórias e Notícias*, Coimbra, Nº 3 (Nova Série), 1-547.
- IYPE (2008a) – “IYPE National Committees”. International Year of Planet Earth. Disponível em: <http://yearofplanetearth.org/index.html> [Acesso: 26/12/2008].
- IYPE (2008b) – “Prospectus & Business Plan”. IYPE Secretariat, Geological Survey of Norway, Trondheim, 1-24. Disponível em: <http://yearofplanetearth.org/content/downloads/BP-Nov2008.pdf> [Acesso em: 14/12/2008].
- Membiola P. (2002) – “Una revisión del movimiento CTS en la enseñanza de las Ciencias. In: *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. Formación científica para la ciudadanía*, Narcea S. A. Ediciones, Madrid, pp. 91-103.
- Mulder E.F.J. De, Nield T., Derbyshire E. (2006) – “The International Year of Planet Earth (2007-2009): Earth Sciences for Society”. *Episodes*, Vol. 29, Nº 2, pp. 82-86.
- Oliveira S. (2000) – “O potencial didático e pedagógico de objectos geológicos com valor patrimonial”. Tese de Mestrado na Universidade de Coimbra, 1-126.
- Oliveira S., Henriques M.H. (2000) – “O Património Paleontológico Português e a sua integração nas Áreas Protegidas do Território Nacional”. Livro de Resumos, I Congr. Ibérico Paleont./XVI Jorn. Soc. Españ. Paleont., Évora, pp.180-181.
- Pedrosa M.A., Moreno M.J.S.M. (2007) – “Ensino Superior, Protecção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável”. In: “I Congreso Internacional de Educación Ambiental dos Países Lusófonos e Galicia”, 1-23 (edição em CD-ROM).
- Pena dos Reis R., Henriques M.H. (2006) – “Sistema Integrado de Classificação do Património Geológico”. Livro de Resumos, VII Congresso Nacional de Geologia, Pólo de Estremoz da Universidade de Évora, Vol. III, pp. 977-980.
- Pereira D., Brilha J., Pereira P. (2008a) – “Geodiversidade. Valores e usos”. Universidade do Minho, Braga, 1-16.
- Pereira D., Brilha J., Dias G. (2008b) – “Master’s course on Geological Heritage and Geoconservation”. *European Geologist*, Nº 26, pp. 29-31.
- Portal do Governo (2008) – “Governo. Composição”. Disponível em: http://www.portugal.gov.pt/Portal/PT/Governos/Governos_Constitucionais/GC17/Composicao/ [Acesso em: 12/12/2008].
- ProGEO (2008) – “The European Association for the Conservation of the Geological Heritage”, Disponível em: <http://www.progeo.se/> [Acesso em: 30/12/2008].
- Santos M.E. (2001) – “Relaciones entre Ciência, Tecnologia y Sociedad”. In: *Enseñanza de las Ciencias desde la Perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. Formación científica para la ciudadanía*, Narcea, S. A. de Ediciones, Madrid, pp. 61-75.
- Santos M.E.V.M. (2004) – “Dos códigos de Cidadania aos códigos do Movimento CTS. Fundamentos, Desafios e Contextos”. In: *Perspectivas Ciência-Tecnologia-Sociedade na Inovação da Educação em Ciência*, Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa, Universidade de Aveiro, pp. 13-22.
- UNESCO (2004) – “Sustainable Development: an Evolving Concept”. Education for Sustainable Development Information Brief. Section for Education for Sustainable Development (ED/PEQ/ESD). Division for the Promotion of Quality Education, UNESCO, Paris. Disponível em: http://portal.unesco.org/education/en/files/30363/11035294683brief_Concept_of_ESD.pdf/brief%2BConcept%2Bof%2BESD.pdf [Acesso em: 1/1/2009].
- UNESCO (2008a) – “Education for Sustainable Development United Nations Decade (2005-2014)”. UNESCO. Disponível em: http://portal.unesco.org/education/en/ev.php-URL_ID=23279&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html [Acesso em: 4/12/2008].
- UNESCO (2008b) – “Education for Sustainable Development United Nations Decade (2005-2014). Vision & Definition of ESD”. UNESCO. Disponível em: http://portal.unesco.org/education/en/ev.php-URL_ID=27279&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html [Acesso em: 4/12/2008].
- Van Loon A.J. (2008) – “Geological education of the future”. *Earth-Science Reviews*, Nº 86, pp. 247–254.

2. Workshops

2.1. Caracterização de rochas em contexto de aula

Pedro Simões

1. INTRODUÇÃO

Frequentemente os alunos encaram a Geologia como “pedras e calhaus”. A obrigação de cumprir os programas, principalmente no 10º e 11º anos na disciplina de Biologia e Geologia, em que há exame nacional, não permitem uma atitude dedicada de observação/contemplação e de interiorização/reflexão dos conteúdos abordados.

Relativamente à observação de rochas (11º ano), o tempo dedicado em laboratório é reduzido, as aulas de campo são raras e por vezes as colecções de rochas e minerais nas escolas são muito limitadas na variedade e no tamanho.

O tempo para a identificação de rochas em amostras de mão de laboratório deve ser aproveitado no sentido do aluno compreender os aspectos texturais e estruturais com as condições de formação das rochas e levá-lo a olhar as rochas com uma atitude de investigação para além da mera identificação e caracterização dos materiais geológicos.

Mais do que relembrar aspectos de identificação e caracterização de rochas em amostra de mão, este workshop pretende ser um contributo para reflectir sobre aspectos de abordagem daquela temática em contexto de laboratório/sala de aula.

2. ROCHAS ÍGNEAS

Podemos reflectir sobre qual o grupo de rochas mais adequado para dar início ao estudo da identificação e caracterização das rochas. As rochas ígneas são as que mais se prestam a este início por serem mais fácil de dirigir a atenção dos alunos (variedade, origem das outras rochas, datação absoluta, planetologia, vulcões ...).

A primeira abordagem é colocar a questão de criar critérios de classificação, apelando à intervenção e discussão com os alunos. A sugestão é ter vários tabuleiros com vários tipos de rochas ígneas. A observação deve sugerir a cor e o tamanho do grão como critério para identificar e caracterizar diferentes rochas ígneas.

Critérios de classificação

Critérios texturais

- *Tamanho do grão*

Os aspectos texturais das rochas podem ser utilizados na classificação das rochas ígneas. A textura das rochas ígneas diz respeito aos diferentes aspectos que os seus constituintes conferem à rocha, nomeadamente: grau de cristalinidade, tamanho do grão, relação geométrica entre os seus constituintes (forma do grão e tipo de textura). O facto de haver rochas com diferentes tamanhos de grão, é algo que os alunos constatarem e que podem utilizar para caracterizar as rochas. Quanto ao tamanho do grão as rochas ígneas são classificadas de acordo com a tabela 1.

Tabela 1. Tamanho do grão em rochas ígneas

Tamanho do grão		
Rochas faneríticas	Rochas microfaneríticas	Rochas afaníticas
Observa-se o grão à vista desarmada: - gr. muito grosseiro: > 30mm - gr. grosseiro: 5 – 30mm - gr. médio: 2 – 5mm -gr. fino: < 2mm	Observa-se o grão mas há minerais que não se conseguem identificar devido ao reduzido tamanho	Há domínio em que não se consegue observar o grão.

O termo rochas microfaneríticas nem sempre é utilizado. Alguns geólogos só utilizam as designações rochas faneríticas ou afaníticas.

Utilizando este critério os alunos podem facilmente separar as amostras em função do tipo de tamanho e discutir sobre o seu modo de ocorrência, isto é, se são rochas plutônicas (r. faneríticas e algumas microfaneríticas), vulcânicas (rochas afaníticas) ou hipabisais (rochas microfaneríticas). É de esperar que numa primeira fase separem as rochas faneríticas das rochas vulcânicas. Numa segunda fase podemos pedir para separarem as rochas faneríticas em função dos diferentes tamanhos de grão (grão muito grosseiro a fino)

Aproveitar para relacionar com a velocidade de arrefecimento do magma e a nucleação e crescimentos dos minerais.

- *Relação entre constituintes (tipo de textura)*

Um outro tipo de exercício que podemos pedir é que seleccionem amostras de rochas em que os diferentes minerais têm praticamente o mesmo tamanho (texturas equigranulares) de outras amostras em que o tamanho dos vários constituintes é diferente (texturas inequigranulares). Na tabela 2 temos uma classificação textural baseada nos diferentes tamanhos do grão a nível da rocha.

Tabela 2. Tipo de texturas em rochas ígneas (relação tamanho entre constituintes)

Rochas equigranulares	Rochas inequigranulares
Textura granular de grão grosseiro	Textura porfíroide
Textura granular de grão médio	Textura porfírica
Textura granular de grão fino	Textura vitrofírica
Textura pegmatítica	Textura nodular
Textura aplítica	
Textura vítrea	

Critério “modo de ocorrência”

A utilização do critério “modo de ocorrência” da rocha está associado/relacionado com os diferentes aspectos texturais das rochas ígneas, pelo que constitui um excelente exercício relacionar o modo de ocorrência com a textura da rocha. Quanto ao modo de ocorrência, as rochas ígneas podem ser classificadas de acordo com a tabela 3. Na tabela 4 estão indicadas algumas rochas plutônicas e seus equivalentes vulcânicos

Tabela 3. Modo de ocorrência das rochas ígneas

Modo de ocorrência		
Rochas plutônicas	Rochas hipabissais	Rochas vulcânicas
Rochas que se formam devido à instalação dos magmas a “grandes” profundidades (>5km).	Rochas cujos magmas se instalam a pequenas profundidades (2 – 5km), entre as rochas plutônicas e as rochas vulcânicas.	Rochas que se formam à superfície ou imediatamente abaixo da superfície.

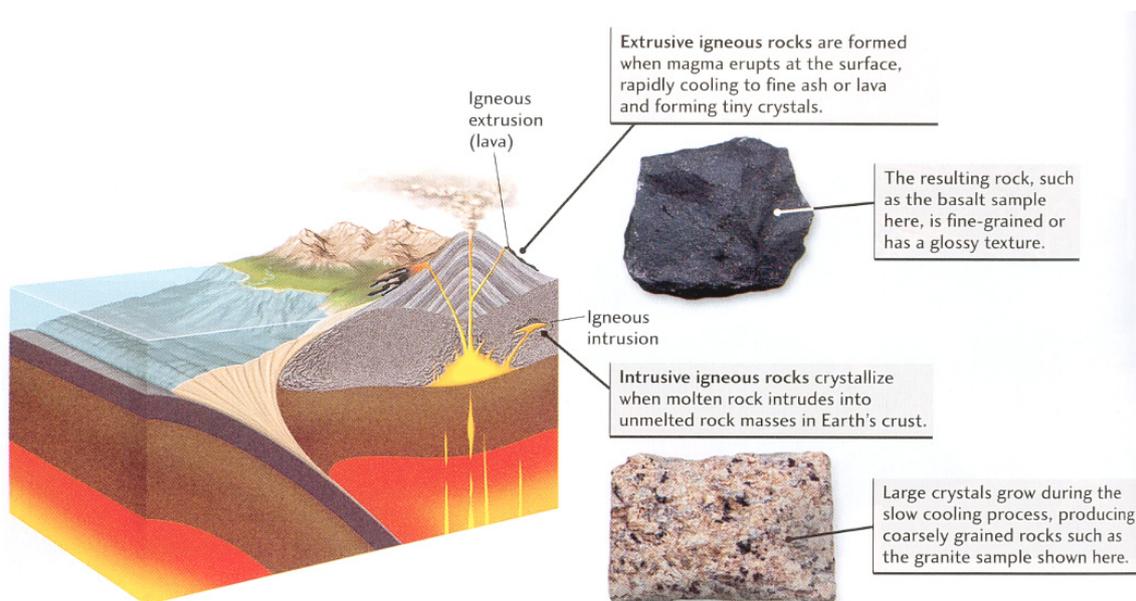


Figura 1. Formação de rochas vulcânicas e plutônicas

Tabela 4. Rochas ígneas e os equivalentes plutônicos e vulcânicos

Rocha Plutônica	Rocha vulcânica
Granito	Riolito
Gabro	Basalto
Diorito	Andesito
Sienito	Traquito

Critério “índice de coloração”

O conteúdo de minerais máficos e félsicos pode ser utilizado como mais um critério para classificar as rochas ígneas. Os minerais Fe-Mg (olivina, piroxena, anfíbola, biotite) têm uma cor negra e são designados por minerais máficos e as rochas que contêm uma grande percentagem de minerais máficos são classificadas como rochas máficas. Por sua vez os minerais félsicos (quartzo, feldspato, moscovite ...) são minerais de cor clara sendo designados por minerais félsicos e as respectivas rochas como rochas félsicas.

É também um ponto de partida para os alunos reflectirem sobre a ocorrência dos minerais ferromagnesianos e associá-los à série reaccional descontínua de Bown e aos diferentes tipos de rochas (gabros e basaltos de cor escura com percentagem significativa de olivina e piroxena por oposição ao granito de cor clara em que o máfico mais frequente é a biotite). Como estratégia podemos pedir aos alunos que separem as rochas função da sua cor mais escura ou clara. Depois deste exercício podemos pedir

aos alunos uma reflexão sobre minerais máficos e félsicos e o significado de uma rocha ter uma maior percentagem de minerais máficos relativamente a uma outra, o que isso implica, será uma rocha ácida ou básica? Relembrando mais uma vez a série reaccional descontínua de Bown

A classificação das rochas ígneas com base no índice de coloração (M') está expressa na tabela 5.

Tabela 5. Índice de coloração das rochas ígneas

Rocha	Índice de coloração – M'
	%
Rocha hololeucocrata	0 - 10
Rocha leucocrata	10 - 35
Rocha mesocrática	35 - 65
Rocha melanocrática	65 - 90
Rocha holomelanocrática	90 - 100

Critério “mineralógico quantitativo” – classificação de Streckeisen

Quando dizemos que uma rocha é um granito ou um gabro, estamos implicitamente a atribuir um significado mineralógico e quantitativo à rocha em análise. Quando temos um granito sabemos que se trata de uma rocha com uma dada percentagem de quartzo, feldspato potássico e plagioclase. Quando temos um gabro sabemos que não terá quartzo, mas será abundante em plagioclase-Ca, olivina e piroxena. Quando falamos dos diferentes tipos de rochas ígneas estamos a utilizar quase sempre a classificação de Streckeisen. Trata-se de uma classificação mineralógico-quantitativa, para rochas plutónicas ou vulcânicas, utilizando minerais essenciais, recorrendo à projecção triangular com base na análise modal ou no cálculo da norma para rochas vulcânicas.

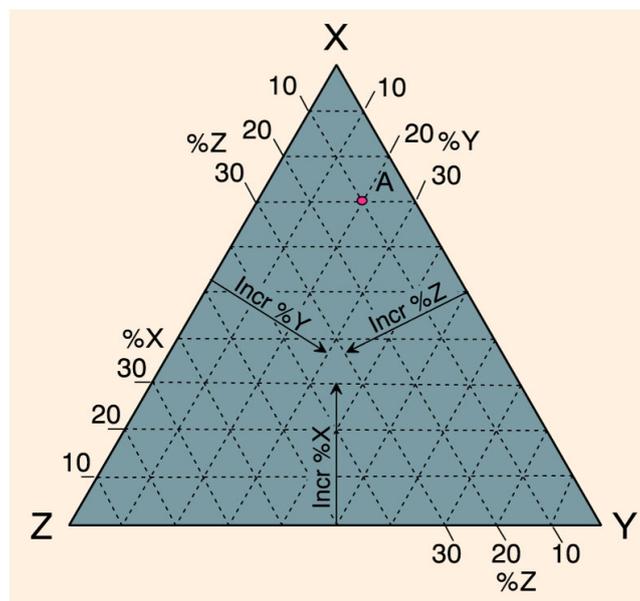


Figura 2. Princípio da projecção triangular

Em contexto de sala de aula/laboratório os alunos não vão utilizar a classificação de Streckeisen, É suposto os alunos saberem identificar minerais como quartzo, feldspato, moscovite, biotite e minerais máficos genericamente. É suposto saberem identificar o quartzo para, ao observarem uma amostra, verificarem que esta tem quartzo e se este é

abundante, que é uma rocha de cor clara, concluindo assim que se trata de um granito. Quando observam um gabro, verificarem que não tem quartzo e que se trata de uma rocha escura, logo com abundância de minerais máficos, ferromagnesianos. A nível do ensino básico e secundário os alunos não vão determinar a percentagem modal das rochas mas a partir da análise modal dadas pelo professor(a) podem fazer a projecção. Com este exercício os alunos entendem como se classifica uma dada rocha e como as principais famílias de rochas ígneas são definidas (ex. a família dos granitóides).

Na classificação das rochas ígneas, ao nome do tipo de rocha deve ser adicionado o nome do mineral característico. Relembrando, numa rocha temos minerais essenciais, minerais característicos (> 5%) e minerais acessórios (cuja soma não excede os 5%). Se uma rocha tem mais do que um mineral característico, colocamos em primeiro lugar o mais abundante. Assim podemos ter um granito biotítico, um granito biotítico-moscovítico, um granito de duas micas (quando a biotite e a moscovite tem aproximadamente a mesma percentagem na rocha).

A seguir ao nome da rocha podemos acrescentar o tipo de textura: granito moscovítico de grão fino, granito biotítico porfíroide de grão médio (o tamanho do grão diz refere-se à matriz).

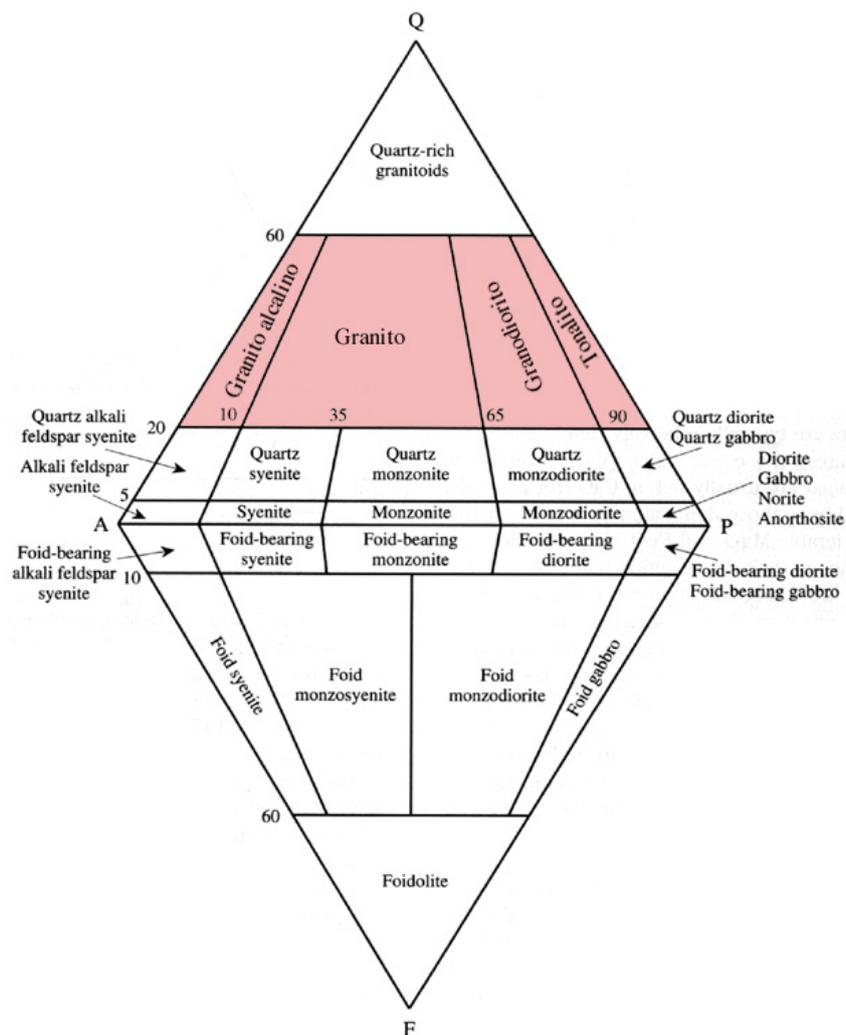


Figura 3. Diagrama de Streckeisen para rochas plutônicas com M' inferior a 90%. Q: quartzo; A: Feldspato alcalino + albite com An% <5; P: plagioclase com An% >5; F: feldspatóides.

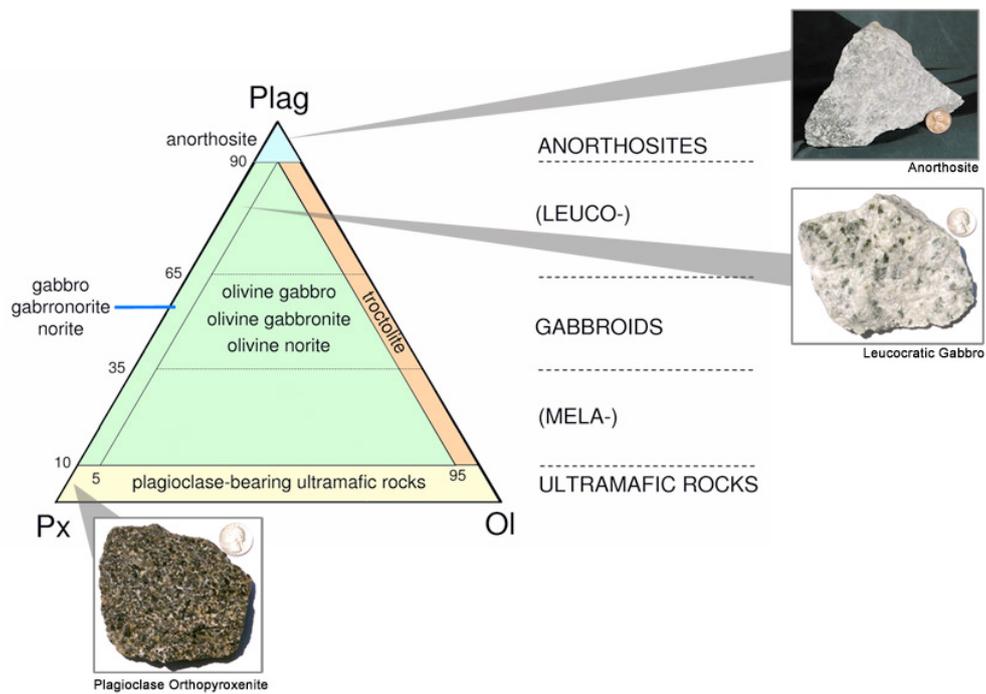


Figura 4. Classificação de Strekeisen para rochas gabróicas plutônicas

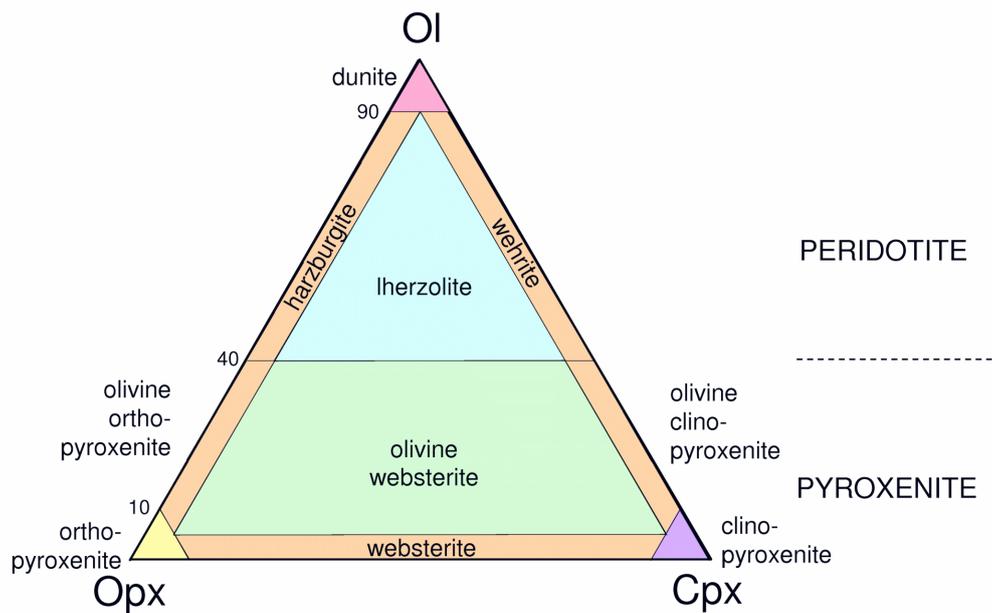


Figura 5. Classificação de Strekeisen para rochas ultramáficas plutônicas.

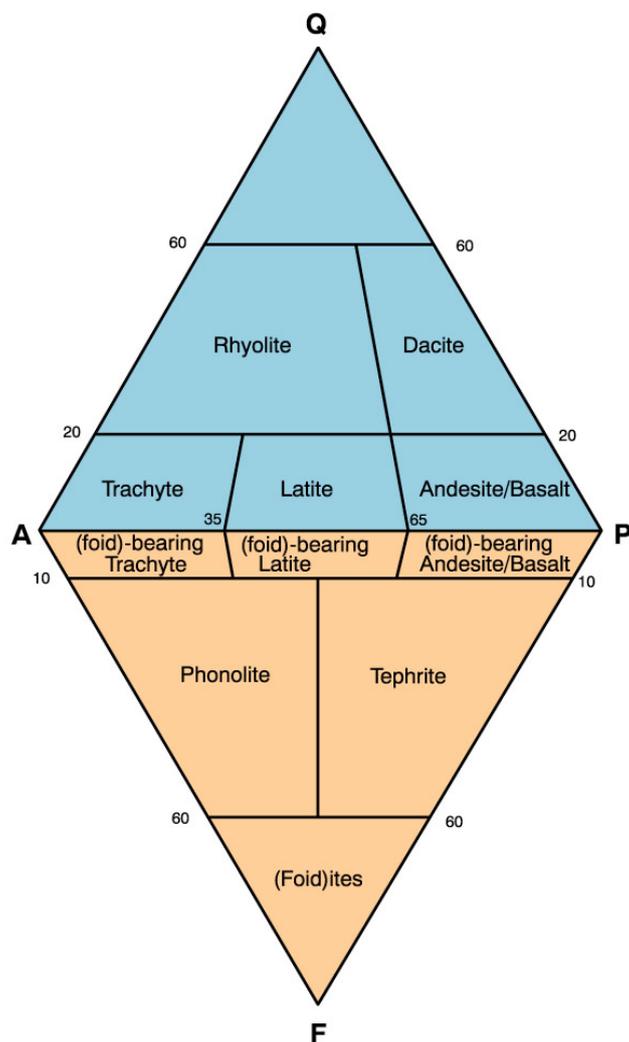


Figura 6. Classificação de Strekeisen para rochas vulcânicas

2.5. Critério “Classificação Química – Percentagem em Sílica”

Existem várias classificações químicas mas iremos fazer referência apenas à classificação baseada na percentagem peso do conteúdo em sílica da rocha (obtida por análise química). A classificação está expressa na tabela 6.

Tabela 6. Classificação química, percentagem sílica

	% Peso de Sílica (SiO₂)
Rocha ácida	> 66
Rocha intermédia	66 – 52
Rocha básica	52 - 45
Rocha ultrabásica	< 45

Uma abordagem que se pode fazer em termos de trabalhar com amostras de rochas é um exercício de classificação das rochas ígneas, conjugando vários critérios de classificação

das rochas, afim de deduzir qual a possível classificação química da rocha (tabela 7). É suposto que os alunos já conheçam a relação entre tipo de magma/rocha e conteúdo em sílica pelo que o exercício de classificação pode ser acompanhado de perguntas relativas a matérias mais teóricas.

Tabela 7. Relação entre classificação química, modo de ocorrência e tipo de rocha

	Composição			
Modo de ocorrência	Ácida ($>66\% \text{SiO}_2$)	Intermediária ($66-52\% \text{SiO}_2$)	Básica ($52-42\% \text{SiO}_2$)	Ultrabásica ($<45\% \text{SiO}_2$)
Intrusiva	Granito	Diorito	Gabro	Peridotito
Extrusiva	Riolito	Andesito	Basalto	Komatiito

Uma maneira para os alunos interiorizarem os conhecimentos é saberem relacionar conceitos, critérios de classificação para melhor identificarem e caracterizarem as rochas. Como exercício podemos pedir aos alunos para pegarem nas várias amostras de rochas e discutirem os vários aspectos texturais, ocorrências, classificação, mineralogia e saber relacioná-los.

Ex. Todas as rochas plutônicas são rochas faneríticas (por vezes microfaneríticas) -> se as rochas são faneríticas isso implica que sejam formadas exclusivamente por cristais (rochas holocristalinas).

Existem figuras que, de uma forma simples, relacionam vários aspectos das rochas ígneas (fig. 7)

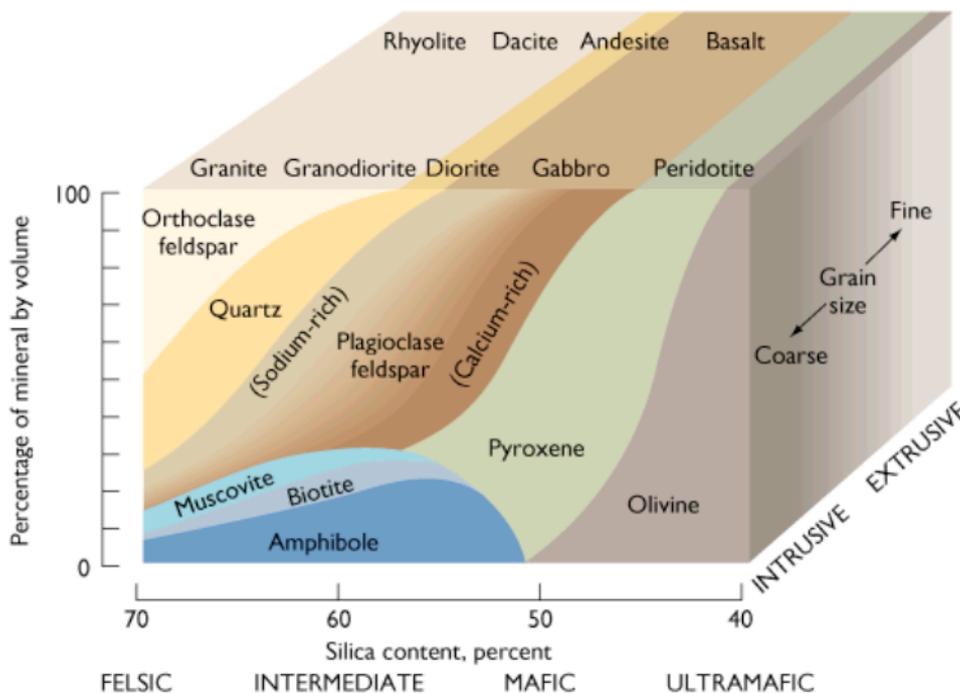


Figura 7. Vários critérios de caracterização das rochas ígneas

Caracterização de amostra de Rochas Ígneas

Propostas de exercícios

Exercício 1. Colocar um tabuleiro de minerais e um outro tabuleiro com rochas. Fazer a correspondência entre os constituintes das rochas e os minerais que se encontram no tabuleiro. Objectivo: associar os minerais às rochas; saber identificar os vários minerais nas rochas.

Exercício 2. Separar as amostras função do tamanho do grão. Nas amostras em que o grão se observa na sua totalidade, separar de acordo com as diferenças de grão. Objectivos: Caracterizar as rochas função do tamanho do grão, relacionar com o modo de ocorrência.

Exercício 3. Num tabuleiro com rochas faneríticas, separar as amostras em função da abundância de quartzo presente nas amostras. Objectivo: perceber e identificar rochas graníticas.

Exercício 4. Num tabuleiro com rochas, separar as amostras em função da cor/abundância de minerais máficos ou félsicos presente nas amostras. Objectivo: perceber e identificar rochas félsicas (granitos, riolitos, sienitos) e rochas máficas (gabros, basaltos).

Exercício 5. Classificar as diferentes rochas e indicar os critérios utilizados
Objectivo: saber os critérios que devem ser utilizados e sua aplicação correcta

REALIZAÇÃO DE RELATÓRIOS INDIVIDUAIS OU EM GRUPO visando:

1. Caracterização estrutural
2. Caracterização textural
3. Identificação mineralógica
4. Classificação, com justificação dos critérios utilizados

3. ROCHAS METAMÓRFICAS

As rochas metamórficas são frequentemente tidas como rochas mais “complicadas”, contudo são um grupo que se presta à discussão de variados conceitos, processos de formação, relação metamorfismo/deformação. Os aspectos texturais e estruturais estão intimamente associados aos processos de formação das rochas.

A classificação das rochas metamórficas envolve aspectos estruturais, texturais, mineralógicos e de génese e os exercícios práticos devem explorar esta relação.

Aspectos estruturais

As rochas metamórficas podem apresentar uma dada estrutura ou podem ser maciças, isotrópicas. As estruturas em rochas metamórficas englobam-se nas seguintes categorias: dobras, foliações e lineações (tabela 8):

Tabela 8. Estruturas em rochas metamórficas

Estruturas em rochas metamórficas		
Dobras	Foliações	Lineações
Dobras similares; Dobras paralelas; Dobras simétricas; Dobras assimétricas Dobras deitadas; ...	Estratificação (herdada); Clivagem de fluxo; Xistosidade; Bandado gnaissico; Clivagem de crenulação;	Alinhamento de minerais; Alinhamento de charneiras; Intersecção de foliações; ...

Dobras

As dobras são estruturas que raramente existem nas colecções de rochas das escolas, mas que merecem o maior destaque pela importância que têm no processos de deformação da rochas, não esquecer que a clivagem de fluxo é muitas vezes designada como clivagem de plano axial. Os elementos físicos das dobras são os flancos e a charneira + zona de charneira. O plano axial e o eixo da dobra são elementos virtuais.. Na figura 8 temos a terminologia de uma dobra com os vários elementos que a constituem.

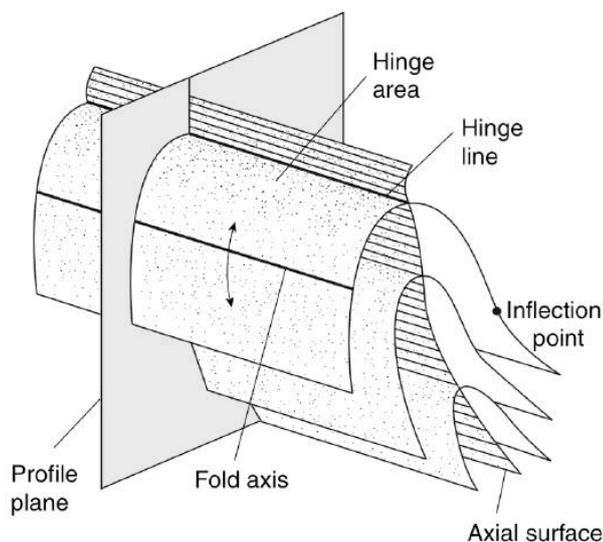


Figura 8. Elementos constituintes de uma dobra

Foliações

Um dos aspectos mais característicos das rochas metamórficas (metamorfismo regional) é a foliação (estrutura planar). À exceção da estratificação, que é uma estrutura sedimentar herdada, todas as restantes foliações são estruturas metamórficas (fig. 9). As foliações metamórficas são o resultado do comportamento das rochas face à deformação.

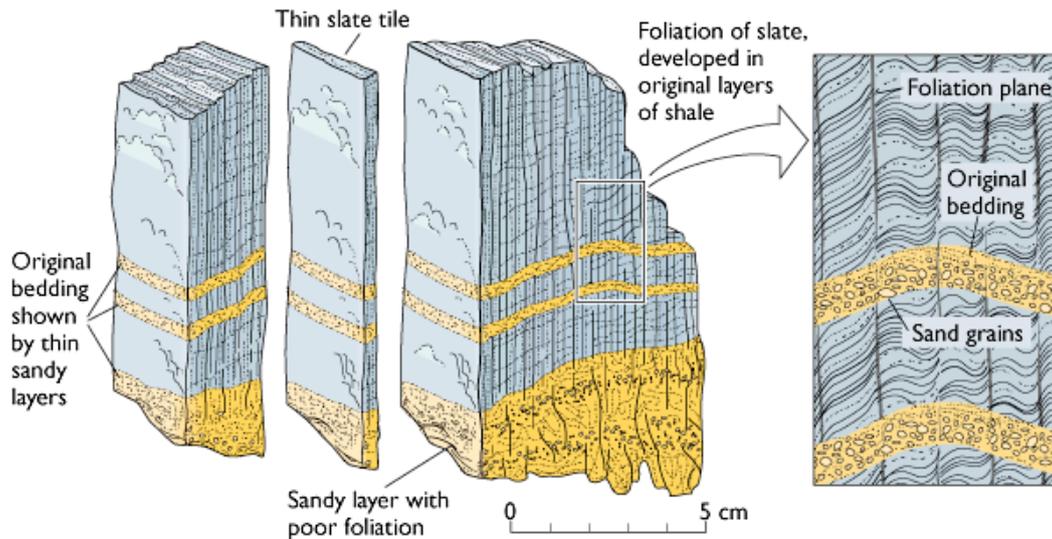


Figura 9. Foliação herdada (estratificação) e foliação metamórfica.

Um exercício frequente é colocar várias amostras de rochas metamórficas e pedir aos alunos para fazerem uma separação das rochas com base na presença ou ausência de estruturas planares. Colocar a questão sobre como se geram aquelas estruturas, que implicações a nível da textura (fig. 10 e 11), sua relação com o grau crescente do metamorfismo (fig. 9), com o aumento do tamanho do grão (aumento do grau de recristalização), com o tipo de metamorfismo (metamorfismo regional ou de contacto).

REGIONAL METAMORPHISM CHANGES ROCK TEXTURE

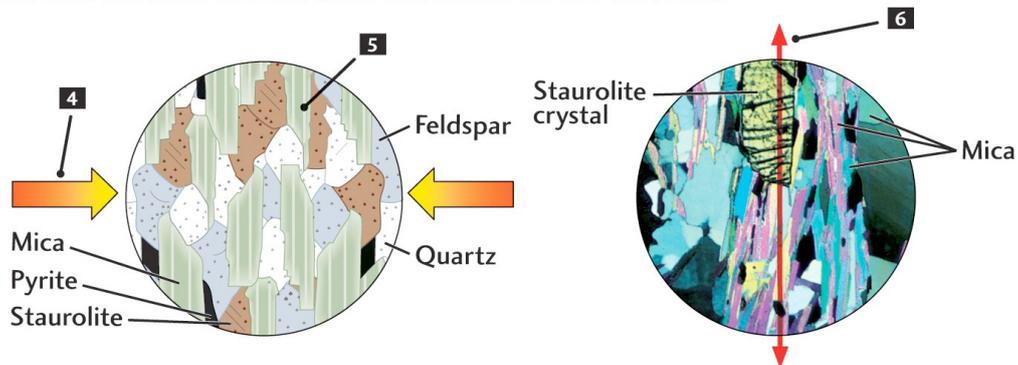


Figura 10. Resposta das rochas quando solicitadas por tensões dirigidas.

REGIONAL METAMORPHISM CHANGES ROCK TEXTURE

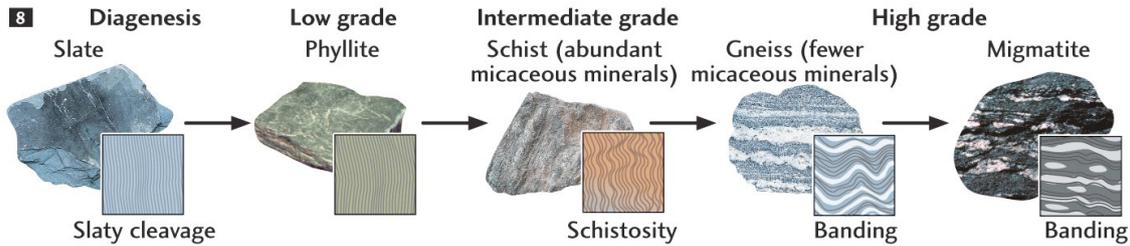


Figura 11. Relação entre o tipo de foliação e o grau de metamorfismo, com implicações a nível textural.

A clivagem de fluxo expressa uma fraca recristalização dos minerais, em condições de baixo grau de metamorfismo, em que as micas não se observam à vista desarmada.

A xistosidade distingue-se da clivagem de fluxo porque os minerais apresentam maior recristalização, pelo que se observam as micas, indicando um maior grau de metamorfismo (grau intermédio). Devido ao maior tamanho do grão a separação em “folhas” não é tão fácil como na clivagem de fluxo.

O bandado gnaissico traduz-se por uma separação entre níveis quartzo-feldspáticos e níveis micáceos. Traduz um grau de metamorfismo médio a elevado.

Podemos ainda estabelecer uma relação entre o tipo de foliação e o grau de metamorfismo (fig. 12).

REGIONAL METAMORPHISM CHANGES ROCK TEXTURE

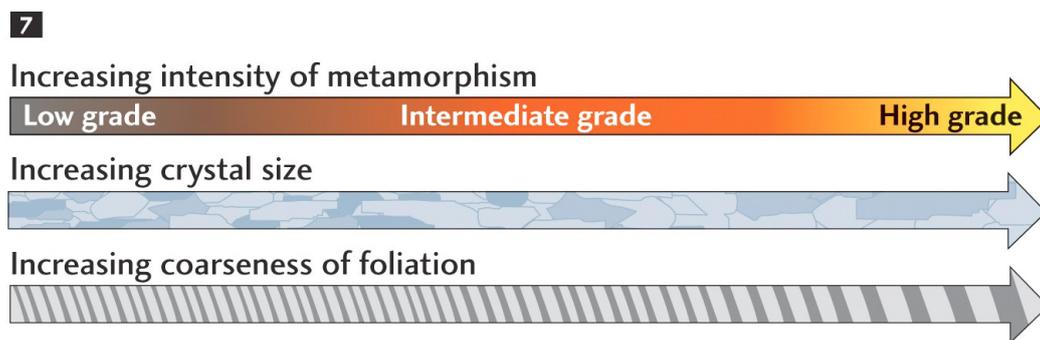


Figura 12. Relação entre aumento do metamorfismo, tamanho do grão e aumento da espessura da foliação (com diminuição da fissilidade).

Lineações

As lineações são estruturas que facilmente se identificam devido à orientação paralela de minerais, alinhamento de charneiras de dobras, ou intersecção de superfícies. Os alunos têm tendência a confundir o plano de corte de uma dada foliação como sendo uma lineação, pelo que devemos estar atentos a este frequente erro. Existem vários tipos de lineação como indicado na figura 13.

Tipos de lineação

- a. Orientação preferencial de agregados alongados;
- b. Orientação preferencial de minerais alongados;
- c. Lineação definida por minerais lamelares;
- d. Lineação de eixos de dobra (principalmente de crenulações);
- e. Lineação de intersecção de elementos planares.

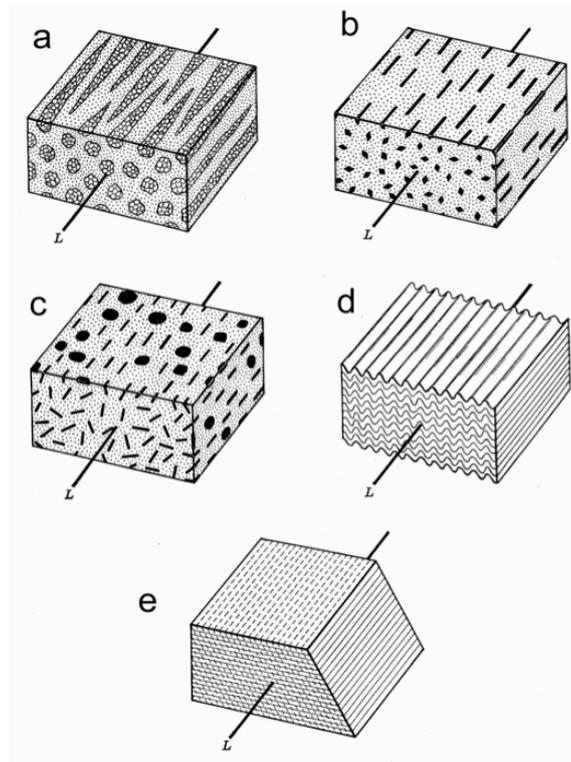


Figura 13. Tipos de foliação em rochas metamórficas

A figura 14 resume o tipo de estruturas que se podem observar nas rochas metamórficas.

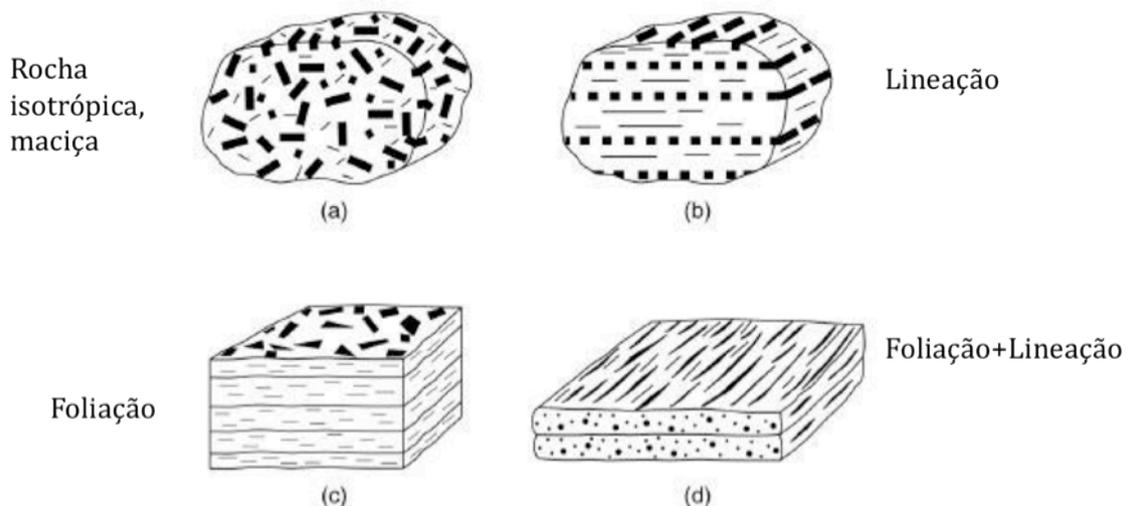


Figura 14. As quatro situações de relações estruturais que podemos ter em rochas metamórficas.

Textura das rochas metamórficas

Existe uma íntima relação entre a estrutura e a textura. As rochas que são maciças, que não têm estrutura apresentam uma textura granoblástica, isotrópica, em que não há orientação dos minerais, associado ao facto dos minerais serem equidimensionais. As restantes texturas são anisotrópicas, com várias designações (tabela 9, figura 15). Quase

sempre a determinação do tipo de textura requer observação microscópica, contudo é possível, em contexto de laboratório, distinguir uma textura granoblástica de outras texturas anisotrópicas. Também a textura porfiroblástica é de fácil identificação devido à presença visível dos porfiroblastos (megacristais que se formam durante o metamorfismo).

Nas rochas metamórficas também se podem utilizar as designações de rocha fanerítica e de rocha afanítica.

Tabela 9 Texturas de rochas metamórficas

Textura isotrópica	Texturas anisotrópicas
Tx. granoblástica: - Isogranular; - Poligonal ou mosaico; - Heterogranular	Tx. lepidoblástica
	Tx. nematoblástica
	Tx. profiroblástica
	Tx. granolepidoblástica
	Tx. granonematoblástica
	Tx. granoporfiroblástica

É de notar que rochas que têm não têm estrutura, que são maciças apresentam uma textura granoblástica.

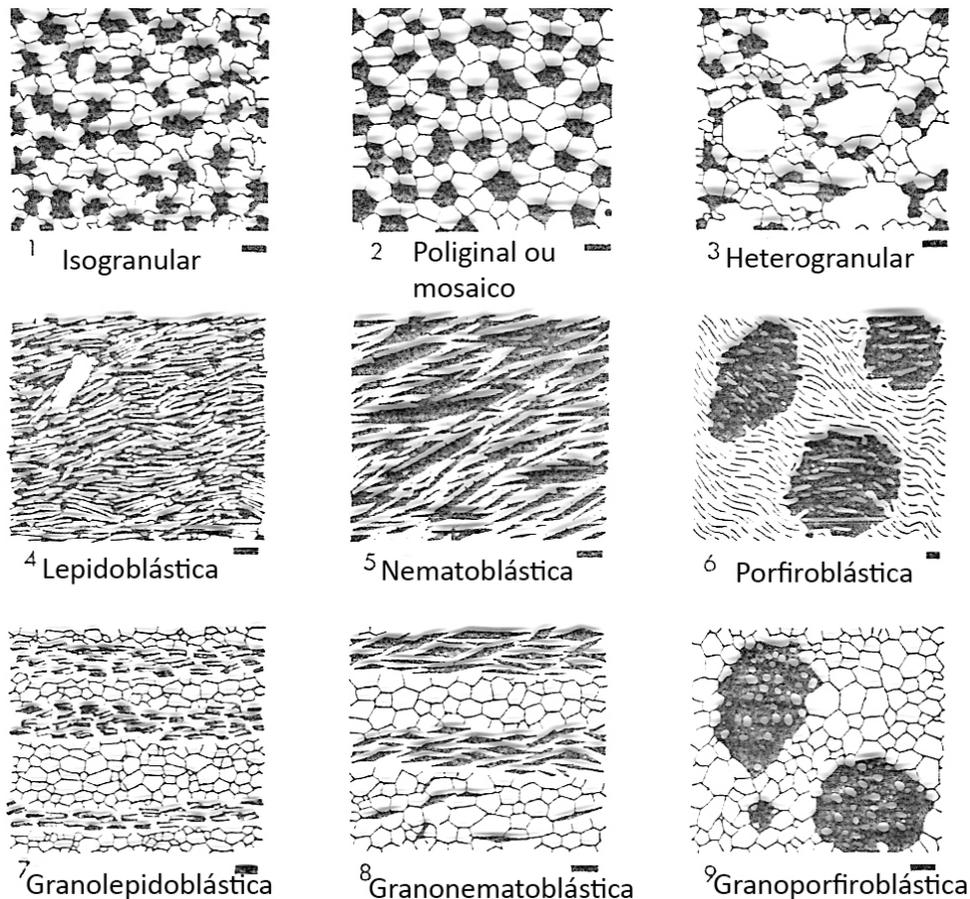


Figura 15. Texturas de rochas metamórficas.

Classificação de rochas metamórficas

A classificação das rochas metamórficas utiliza vários critérios para atribuição do nome a uma dada rocha, ao contrário das rochas ígneas que recorrem ao critério mineralógico-quantitativo (diagramas de Strekeisen). A tabela 10 estabelece a relação entre critério de classificação e os diferentes tipos de rochas metamórficas. Na figura 16 é apresentado um esquema simples que permite caracterizar as rochas utilizando o critério estrutura + reacção com o HCl.

Tabela 10. Classificação das rochas metamórficas

Critério de Classificação	Tipo de rocha
Critério mineralógico	<ul style="list-style-type: none">• quartzito: rocha constituída essencialmente por quartzo;• mármore: rocha constituída essencialmente por calcite;• anfibolito: rocha constituída essencialmente por anfibola;• serpentinito: rocha constituída essencialmente por serpentina;• esteatito: rocha constituída essencialmente por talco com fraca a nula foliação.
Critério de génese	<ul style="list-style-type: none">• corneana: rocha sem foliação, com fábrica granoblástica, formada por metamorfismo de contacto;• filonito: rocha semelhante ao filito, mas em que a fábrica resultou da granulação (devido à pressão) sofrida por rochas faneríticas, como grauvaques, gnaisses e granulitos;• milonito: rocha com fábrica cataclástica;• granulito: rocha com elevado grau de metamorfismo, pobre em micas e caracterizada por apresentar silimanite (ou distena) e granada em vez de micas e/ou piroxenas em vez de anfibolas, ocorre na crosta inferior;
Critérios mineralógico-texturais	<ul style="list-style-type: none">• filito ou filádio: rocha com clivagem de fluxo, formada essencialmente por micas (>50%) de grão muito fino;• gnaisse : rocha com estrutura bandada (laminação gnaissosa), geralmente com feldspato > 20%, quartzo e mica;• micaxisto: rocha com xistosidade, de grão médio a grosseiro, formada essencialmente por micas (>50%), em que a percentagem de feldspatos é inferior a 20%;• xisto clorítico, xisto actinolítico, xisto glaucofânico, xisto talcoso: rochas afins aos micaxistos, mas com clorite, actinolite (anf.), glaucofana (anf.), talco em vez de micas;
Natureza da rocha original: utilização de prefixos	<ul style="list-style-type: none">• Meta: baixo grau de metamorfismo, é possível identificar a rocha original (metariolito, metagrauvaque).• Orto: rocha original de natureza ígnea (ortognaisse).• Para: rocha original de natureza sedimentar (paragnaisse).

Para além do nome da rocha devemos adicionar o nome dos minerais característicos quando presentes na rocha: micaxisto com granada ou granatífero, micaxisto com estauroilite ou estauroilítico, ganisse com silimanite ou silimanítico, gnaisse biotítico-muscovite, etc.

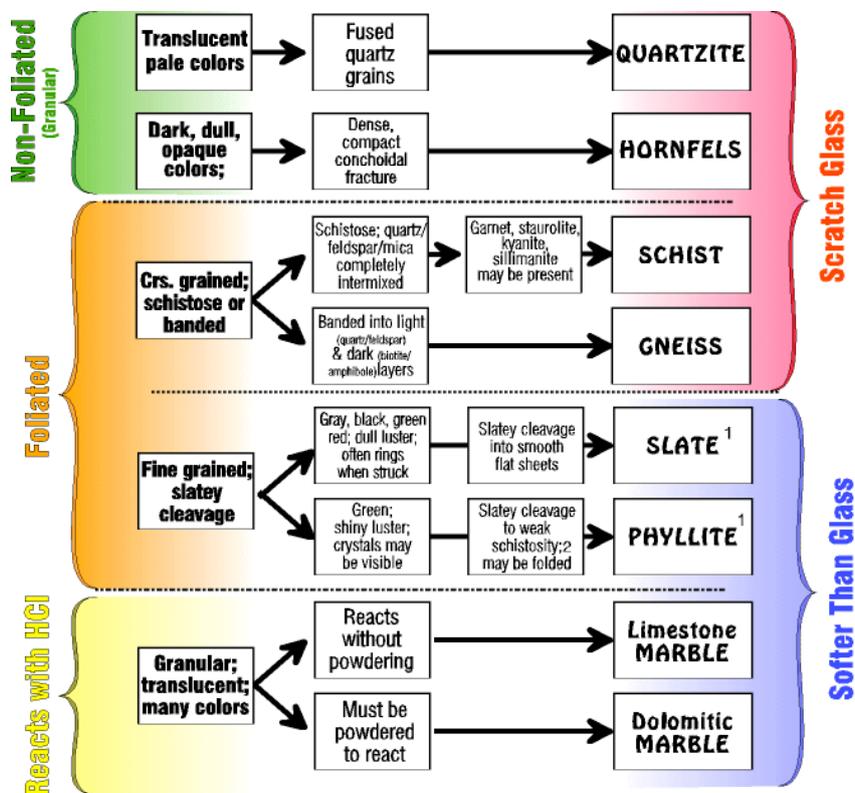
Podemos ainda utilizar termos como xisto mosqueado ou corneana mosqueada quando existirem porfiroblastos na rocha.

Para relacionar o grau crescente de metamorfismo com o tipo de rocha associadas (tabela 11) é útil dispor de um tabuleiro com as seguintes amostras: argilito, ardósia, filito, micaxisto, gnaíse.

Tabela 11. Relação entre tipo de rocha e grau de metamorfismo

Sequência metamórfica progradante para metamorfismo de pressão intermédia. Minerais índice rochas associadas e associações mineralógicas	
• Zona da clorite: ardósias e filitos -	Chl+Ms+Qtz+Ab
• Zona da biotite: filitos e micaxistos finos -	Bt+Chl+Ms+Qtz+Ab
• Z. da granada: micaxistos -	Grt (<u>Alm!</u>)+Bt+Ms+Chl+Qtz+Ab/Olig.
• Z. da estauroлите: micaxistos -	St+Grt+Bt+Ms+Qtz+Pl (\pm Chl)
• Zona da distena: micaxistos -	Ky+Bt+Ms+Qtz+Pl (\pm Grt, \pm St)
• Zona da sillimanite: micaxistos e gnaisses-	Sill+Grt+Bt+Qtz+Pl (\pm Ky, \pm St, \pm Ms)

Nos manuais escolares é frequente o quartzito e o mármore serem apresentados como gerados por metamorfismo de contacto, contudo também se formam em condições de metamorfismo regional (em Portugal é a situação mais frequente).



1 (Shale), slate, and phyllite complete intergrade with each other. Distinctions may be difficult.

Figura 16. Esquema de caracterização e classificação de rochas metamórficas

4. ROCHAS SEDIMENTARES

A caracterização e a classificação de rochas sedimentares será certamente o grupo de rochas mais fácil para os alunos dado que facilmente conseguem identificar que tipo de rocha estão a observar, podendo ainda utilizar o ácido HCl para identificar a presença de carbonatos na rocha que estão a estudar.

Relativamente à classificação das rochas sedimentares considera-se a divisão expressa na tabela 12.

Tabela 12. Classificação de rochas sedimentares

Rochas detríticas ou clásticas	Rochas biogénicas ou bioquímicas	Rochas químicas	Rochas vulcano-clásticas
Conglomerados; Arenitos; Siltitos; Argilitos	Calcários; Chertes; Carvão; Fosforitos ± Dolomias	Rochas evaporíticas; Rochas ferríferas ± Calcários ± Dolomias ± Chertes	Depósitos piroclásticos; Tufos

Estruturas

Existe uma grande diversificação de estruturas, muitas das quais podem ocorrer em qualquer um dos vários tipos de litologia sedimentar. As estruturas sedimentares são o resultados de processos físicos e/ou químicos que decorrem antes, durante e após a sedimentação, e ainda através de processos biogénicos.

Podem-se considerar quatro categorias de estruturas sedimentares:

- i) estruturas erosivas (flute marks, tool marks, estruturas de canal);
- ii) estruturas de deposição (estratificação, estratificação entrecruzada, ripples, dunas);
- iii) estruturas biogénicas (icnofóseis);
- iv) estruturas pós-deposição (load casts, slumps, estilólitos ...),

A nível de observação de amostras de rochas detríticas em amostras de mão, as estruturas que poderão identificar serão a estratificação e os estilólitos. No caso das camadas apresentarem uma espessura inferior a 1cm podemos utilizar o termo laminação em vez de estratificação. Os estilólitos são estruturas diagenéticas que podem ocorrer em calcários (fig. 17).

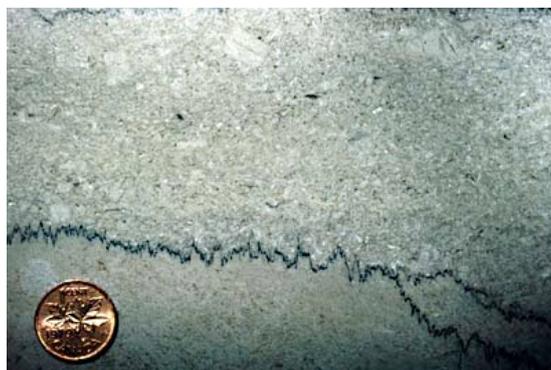


Figura 17: Observação de estilólitos.

Rochas detríticas

As rochas detríticas (>50% de componente terrígeno) são de fácil interpretação e caracterização. Servem ainda para os alunos perceberem que os sedimentos que constituem as rochas detríticas são produtos de meteorização de rochas pré-existentes: fragmentos de rochas + fragmentos de minerais + monominerais (componentes terrígenos). A utilização de amostras de rochas detríticas presta-se a discutir questões relacionadas com os processos geradores das rochas sedimentares: meteorização, erosão transporte, deposição e diagénese.

Classificação

A classificação das rochas detríticas é uma classificação granulométrica (tabela 13), de fácil observação em amostras de mão, em que rapidamente os alunos conseguem separar conglomerados de arenitos de rochas de granulometria fina (siltios + argilitos). É importante que os alunos entendem que as amostras em que os sedimentos estão soltos, como as areias das praias, também são rochas sedimentares

Tabela 13 . Classificação das rochas detríticas

Dimensão dos clastos (mm)	Rochas clásticas não coerentes	Rochas clásticas coerentes
> 2mm	Blocos Seixos Areão	Conglomerados
2 mm – 0.062mm	Areia grossa Areia média Areia fina	Arenitos
0.062 – 0.004mm	Silte	Siltitos
< 0.004 mm	Argila	Argilitos

Podemos ainda utilizar o termo brecha conglomerática quando os clastos do conglomerado forem angulosos.

Aspectos texturais

Na caracterização de amostras de rochas detríticas devemos ter em atenção os seguintes aspectos texturais:

- Cor;
- Textura (em rochas detríticas a textura é detrítica ou clástica);
- Tamanho dos clastos
- Calibragem;
- Porosidade;
- Arredondamento;
- Esfericidade;
- Tipo de cimento (cimento ferruginoso, carbonatado ou silicioso);

Aspectos como arredondamento e esfericidade serão de difícil caracterização macroscópica em arenitos e rochas de granulometria fina devido ao reduzido tamanho dos clastos.

Cor dos sedimentos

A cor dos sedimentos está relacionada com vários aspectos: cor dos clastos, tipo de cimento, presença/ausência de oxigênio, presença/ausência de matéria orgânica, presença/ausência de pirite. É evidente que tanto a presença de matéria orgânica como de pirite estão relacionadas com a ausência de oxigênio presente no meio, ambiente redutor (fig. 18). A cor dos sedimentos pode ser alterada durante o processo diagenético, pelo que não sempre é fácil saber qual a origem da cor (origem primária, momento da deposição, ou de origem secundária, durante a diagênese), sobretudo em rochas de granulometria fina (siltitos, argilitos).



Figura 18: Relação da cor dos sedimentos com a quantidade de oxigênio.

Rochas carbonatadas – calcários

Os calcários são rochas essencialmente monominerálicas, formadas por calcite. São rochas que colocam alguma dificuldade na sua identificação e caracterização macroscópica quando se tratam de calcários micríticos ou calcários em que os fósseis não se observam à vista desarmada.

Classificação dos calcários

Os componentes dos calcários são de dois tipos (tabela 14):

- Componente ortoquímico – formação *in situ* ou com reduzido transporte dentro da bacia de sedimentação.
- Componente aloquímico: formação e transporte dentro da bacia de sedimentação.

Tanto o componente ortoquímico como o aloquímico são, evidentemente, constituídos por calcite. O componente ortoquímico é visto como um cimento embora hajam autores que considerem que a micrite também têm uma origem aloquímica e portanto que seja interpretada como matriz.

A classificação dos calcários é essencialmente uma classificação microscópica (fig. 19), mas isso não deve impedir de se fazer uma classificação macroscópica na medida do possível (tabela 15).

Tabela 14: Componentes dos calcários

Componentes dos calcários	
Componente ortoquímico	Componentes aloquímicos
Esparrite; > 0.15mm	Oólitos ou oóides
Microesparrite: 0.004 – 0.15mm	
Micrite: > 0.004mm	Pelóides
	Bioclastos
	Intraclastos

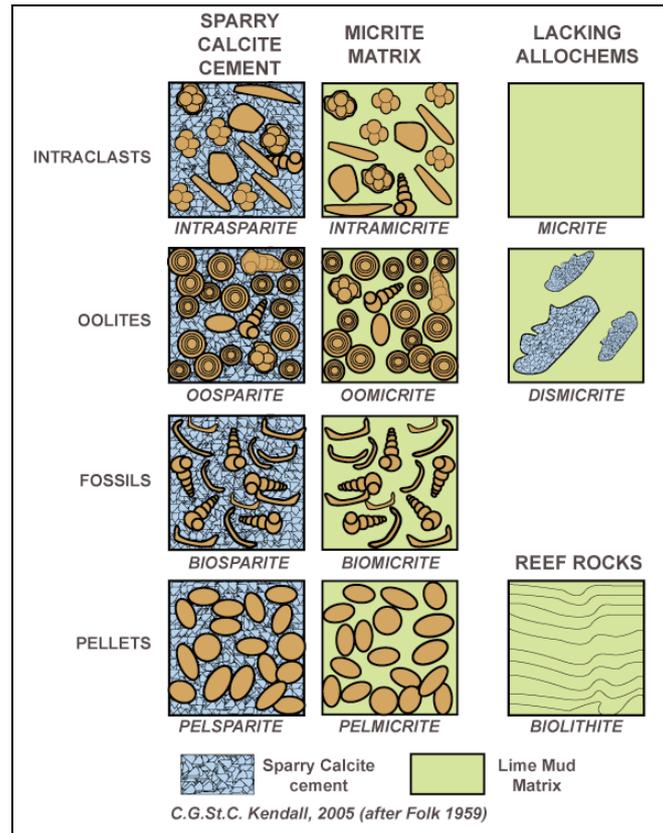


Figura 19. Classificação de calcários segundo Folk.

Quanto a uma classificação macroscópica podemos utilizar as seguintes designações indicadas na tabela 15:

Tabela 15 . Classificação macroscópica de calcários

Classificação macroscópica de calcários
calcário oolítico
calcário oolítico-pisolítico
calcário biodetrítico/bioclastico
calcário fossilífero
calcário conquífero
calcário coralífero ou recifal
calcário micrítico
calcário margoso

Num calcários podemos ter os dois tipos de ortoquímicos (esparrite/microesparrite e micrite) e vários tipos de aloquímicos.

A estrutura mais frequente nos calcários é a estratificação mas à escala da amostra de mão raramente é possível observar. Por vezes podemos identificar a presença de estilólitos na amostra.

Relativamente à textura, os calcários podem genericamente apresentar dois tipos de textura: textura detrítica/clástica, desde que exista o componente aloquímico ou textura cristalina para calcários 100% ortoquímicos.

Do ponto de vista da caracterização dos calcários os seguintes aspectos devem ser tidos em conta:

- Estrutura;
- Cor;
- Textura (detrítica ou cristalina);
- Componente ortoquímico (tipo e percentagem)
- Componente aloquímico (tipo e percentagem)
- Porosidade (pode ser primária ou secundária devido à dissolução da calcite)
- Classificação

No caso dos calcários fossilíferos aproveitar para caracterizar o tipo de fossilização presente.

Nos tabuleiros com amostras de rochas sedimentares evitar colocar margas, a não ser que se pretenda chamar a atenção para este tipo de rochas, a fim de evitar algum tipo de confusão a nível da caracterização dos carbonatos utilizando a reacção com o HCl. Relembramos que o facto de uma rocha sedimentar fazer reacção com o HCl quer apenas dizer que estão presente carbonatos, mas a rocha pode não ser um calcário.

Para a caracterização e separação de amostra de rochas sedimentares podemos utilizar o critério de componente terrígeno *versus* componente carbonatado para separar rochas detríticas de rochas carbonatadas.

Bibliografia de referência

Press, F.; Siever R.; Grotzinger, J.; Jordan, T. H. (2003). Understanding Earth. W.H.Freeman & Co Ltd, 568p.

Skinner, B.J. e Porter, S.C. (2000) - "The dynamic Earth. An introduction to physical geology". 4th Ed., John Wiley & Sons.

2.2. Cartas geológicas: utilização no âmbito do ensino básico e secundário

Jorge Pamplona

Organização da sessão

1. CARTAS TOPOGRÁFICAS

Análise dos principais elementos de uma carta topográfica (escala, curvas de nível, pendor das vertentes e formas do terreno, declinação magnética) – **exercícios práticos**.

Orientação de uma carta topográfica – **exercícios práticos**.

2. CARTAS GEOLÓGICAS

Conceito de horizontal, cálculo da atitude de estruturas geológicas, interpretação de uma carta geológica didáctica – **exercícios práticos**.

Elementos das cartas geológicas (legendas, escala, coordenadas, coluna estratigráfica, cortes geológicos) – **Análise de cartas geológicas de Portugal à escala 1/50 000**

Nota introdutória

As cartas geológicas podem ser incluídas em diferentes unidades didácticas dos programas do ensino básico e secundário. Sempre que se fale, por exemplo, de aspectos composicionais e estruturais, mineiros e hidrogeológicos, existe cartografia de carácter mais fundamental ou temática sobre estes assuntos. Naturalmente possuir esta documentação exige um esforço dos departamentos para a sua aquisição, mas o facto de possuírem este acervo, constituirá um factor dinamizador e motivador no processo ensino-aprendizagem.

O facto de os alunos poderem fazer a descoberta dos conceitos a partir da exploração das cartas geológicas, dada a necessidade de lerem e compreenderem a informação disponível na carta, é por si só, um fonte de aprendizagem e motivação adicional. O reconhecimento, com o apoio de uma carta geológica, de afloramentos, tanto na envolvente da escola, como nos locais onde os alunos habitam, pode ser o motor para a melhor compreensão das aulas de geologia e, também, constituírem um suporte para o desenvolvimento de trabalhos de projecto.

As cartas topográficas (noções básicas)

Carta topográfica é, segundo Gaspar (2004), uma carta de base que representa, tão fiel e pormenorizadamente quanto a escala o permite, a topografia da superfície terrestre.

Uma carta topográfica serve de base ao trabalho desenvolvido no processo de desenvolvimento da cartografia geológica. Daí a necessidade de saber interpretar correctamente alguns elementos aí representados.

Escala da carta

A escala da carta é o quociente entre o comprimento de um segmento, na carta e na superfície de referência cartográfica (Gaspar, 2004). Assim, uma escala 1/25 000 significa que 1 centímetro corresponde a 25 000 centímetros (250 metros) no terreno.

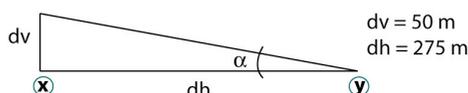
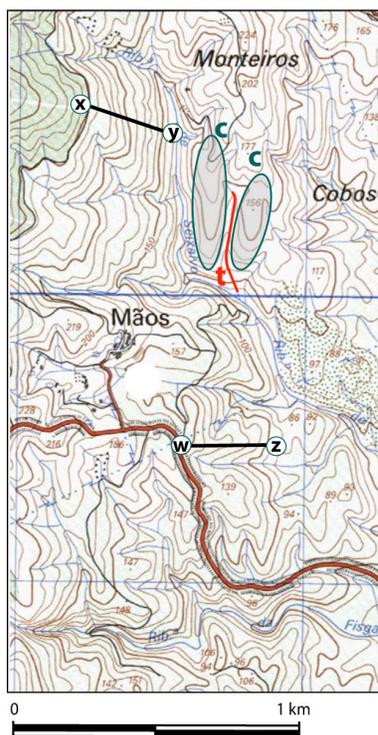
Quanto maior for a escala de uma carta maior é o seu detalhe, isto é, quanto menor for a razão entre o comprimento de um segmento na carta e a distância no terreno, mais pormenores a carta apresentará.

Uma regra de três simples permite calcular, numa escala determinada, o valor de qualquer distância, considerada na carta, e a correspondente medida no terreno e vice-versa.

Curvas de nível, pendor das vertentes e formas do terreno

O pendor ou declive das vertentes e as formas de relevo são traduzidas cartograficamente pelas curvas de nível ou linhas de igual altitude que definem geometricamente o terreno.

Comparando a carta com o terreno, constatar-se-á rapidamente que quando as curvas de nível estão mais próximas umas das outras o declive é mais forte (Fig. 1). Também a partir das curvas de nível se pode distinguir as cumeadas e as suas formas (arredondadas, pontegoadas e tabulares) dos talvegues (Fig. 1).



Declive expresso em percentagem (%) **Declive expresso em graus (º)**

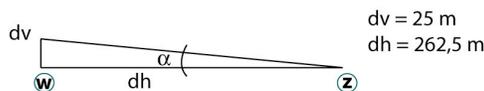
Declive (%) = $dv/dh \cdot 100$
 Declive (%) = $50/275 \cdot 100$
 Declive = 18,18 %

$tg \alpha = dv/dh$
 $tg \alpha = 50/275$
 $tg \alpha = 0,1818$
 $tg^{-1} 0,1818 = 10,3^\circ$

Significa que por cada 100 m percorridos na horizontal se desce em cota 18,18 m

Significa que a inclinação da vertente é de $10,3^\circ$ com a horizontal

Este declive ainda pode ser expresso da seguinte forma: 1v : 5,5h



Declive expresso em percentagem (%) **Declive expresso em graus (º)**

Declive (%) = $dv/dh \cdot 100$
 Declive (%) = $25/262,5 \cdot 100$
 Declive = 9,52 %

$tg \alpha = dv/dh$
 $tg \alpha = 25/262,5$
 $tg \alpha = 0,0952$
 $tg^{-1} 0,0952 = 5,4^\circ$

Significa que por cada 100 m percorridos na horizontal se desce em cota 9,52 m

Significa que a inclinação da vertente é de $5,4^\circ$ com a horizontal

Este declive ainda pode ser expresso da seguinte forma: 1v : 10,5h

Figura 1. Pormenor de uma carta topográfica (carta topográfica nº 28, IgeoE) com indicação de sectores com declives distintos e formas do terreno – cumeadas (c) e talvegues (t).

As cartas geológicas

Uma carta geológica é um documento científico e técnico valioso onde se sintetiza, sobre um fundo topográfico adequado, informação relativa aos materiais rochosos que ocorrem na região abrangida pela carta e aos fenómenos que os afectaram (Rebelo, 1999).

A informação disponibilizada nestas cartas não só diz respeito a aspectos relacionado com a natureza e estrutura dos materiais geológicos, mas também à ocorrência de substâncias minerais com interesse económico, nascentes naturais, entre outros.

De uma forma mais abrangente poderemos dizer que as cartas geológicas são elementos fundamentais e imprescindíveis no Planeamento e Ordenamento territorial, visto estas, *e.g.*, serem utilizadas para a escolha de locais para a implantação de grandes obras de engenharia, risco sísmico, agricultura e preservação do ambiente.

Tipos de cartas geológicas

Cartas de síntese geológica das unidades nacionais (*e.g.*, Carta Geológica de Portugal à escala 1/500 000) e internacionais (Carta Tectónica da Península Ibérica à escala 1/2 000 000)

Cartas geológicas fundamentais (infraestruturais) das unidades nacionais (Cartas Geológicas de Portugal à escala 1/50 000) representam as características geológicas da crosta aflorante, tanto das das formações superficiais, como das formações lito-orogénicas complexas.

Cartas específicas ou temáticas são cartas relativas a uma característica geológica específica, que não figura, pelo menos com detalhe, na cartografia fundamental, sendo exemplos, deste tipo de cartografia, as cartas tectónicas, as cartas mineiras, as cartas geoquímicas e as cartas hidrogeológicas.

Organização da informação numa carta geológica

A informação presente numa carta geológica impressa obedece a um conjunto de elementos tais como a legenda, a coluna estratigráfica e os cortes geológicos (Fig. 2).

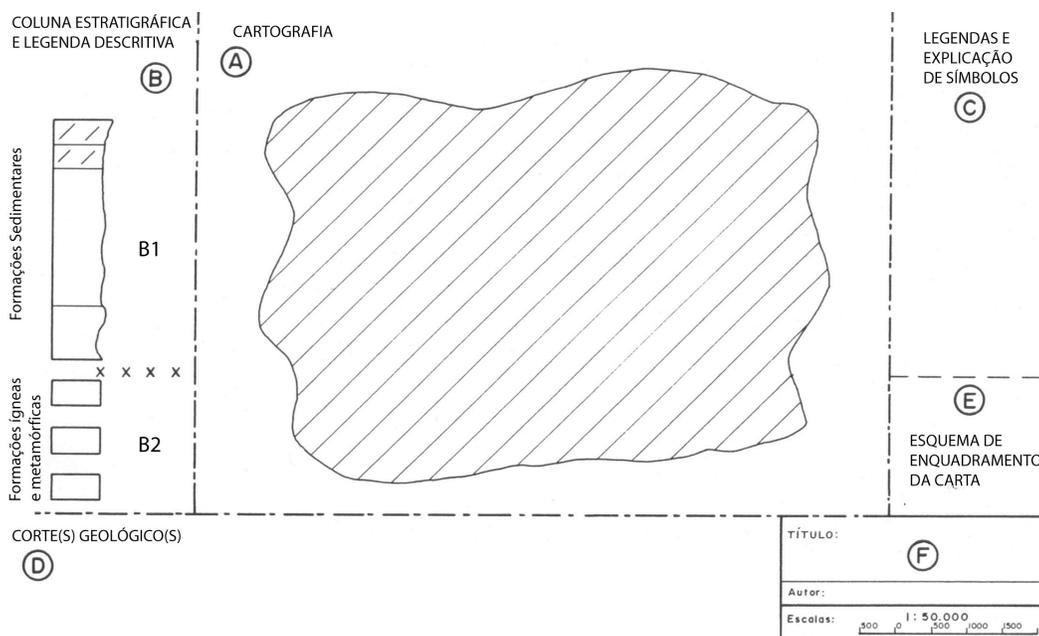


Figura 2. Esquema das partes representativas características das carta geológicas impressas. Adaptado de Martinez-Alvarez (1989).

Conceito de horizontal e determinação da atitude de estruturas geológicas

Horizontal de uma estrutura geológica é a projecção num plano horizontal das linhas, traçadas sobre esta estrutura, cujos pontos têm a mesma cota (Fig. 3).

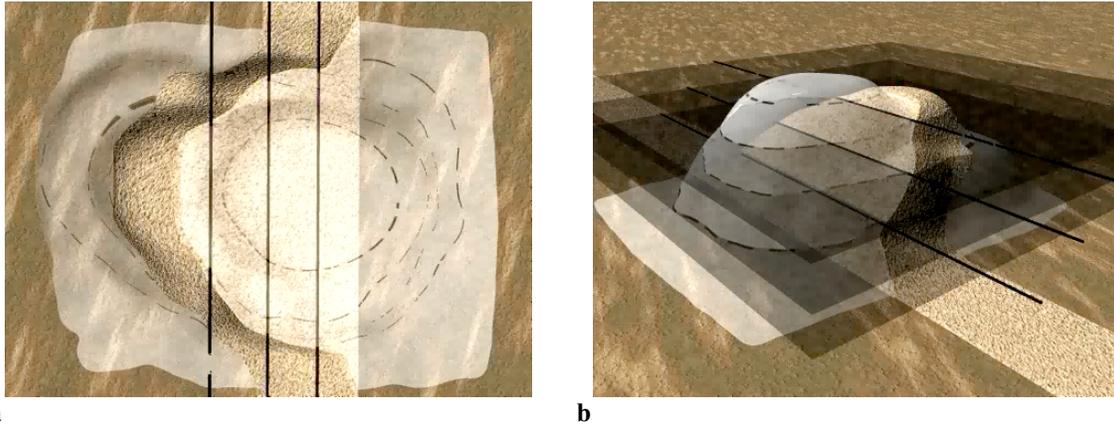


Figura 3. a – Horizontais de uma camada a 2D; horizontais de uma camada a 3D. As linhas a tracejado representam as curvas de nível; as linha contínuas representam as horizontais. Imagens cedidas por R. Henriques (Departamento de Ciências da Terra/Universidade do Minho)

O modo como se determina da atitude de uma estrutura geológica numa carta está representado na Fig. 4.

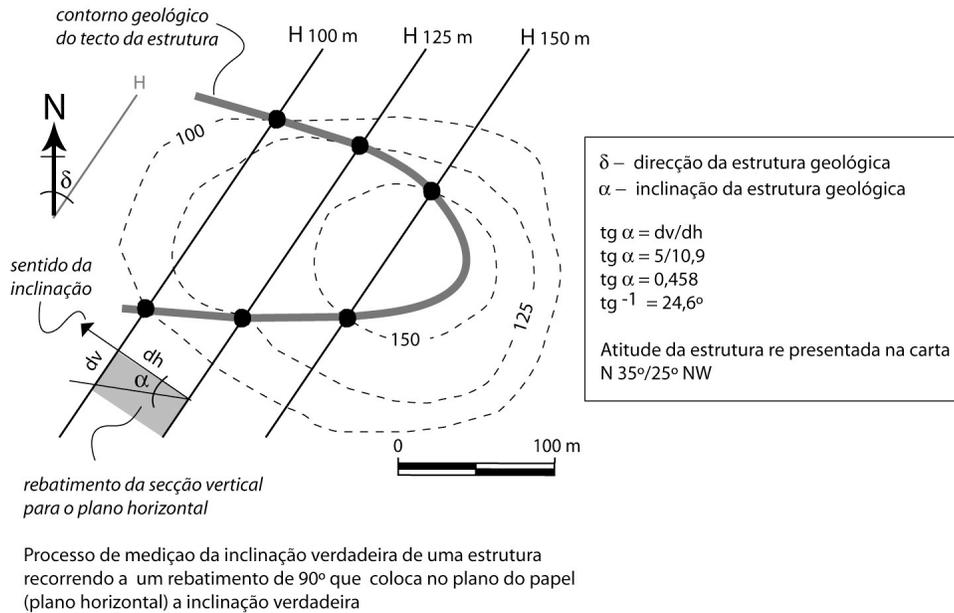


Figura 4. Determinação da atitude de uma estrutura geológica a partir das horizontais, conhecida a equidistância entre as curvas de nível e a escala da carta.

Corte geológico

Segundo Martínez-Alvarez (1989), um corte geológico (Fig. 5) é uma secção vertical representativa das características geológicas, sendo constituído pelos seguintes elementos:

1. Referências relacionadas com a posição e características da secção vertical escolhida (traçado do perfil topográfico correspondente à secção, escala horizontal e vertical equivalente, orientação geográfica da secção e toponímia);
2. Simbologia representativa sobre o perfil topográfico (simbologia litológica, simbologia cronológica e simbologia estrutural);
3. Zonas ou domínios representativos (zona de extrapolação erosiva, nível representativo, nível de extrapolação interno e nível de interpretação interna).

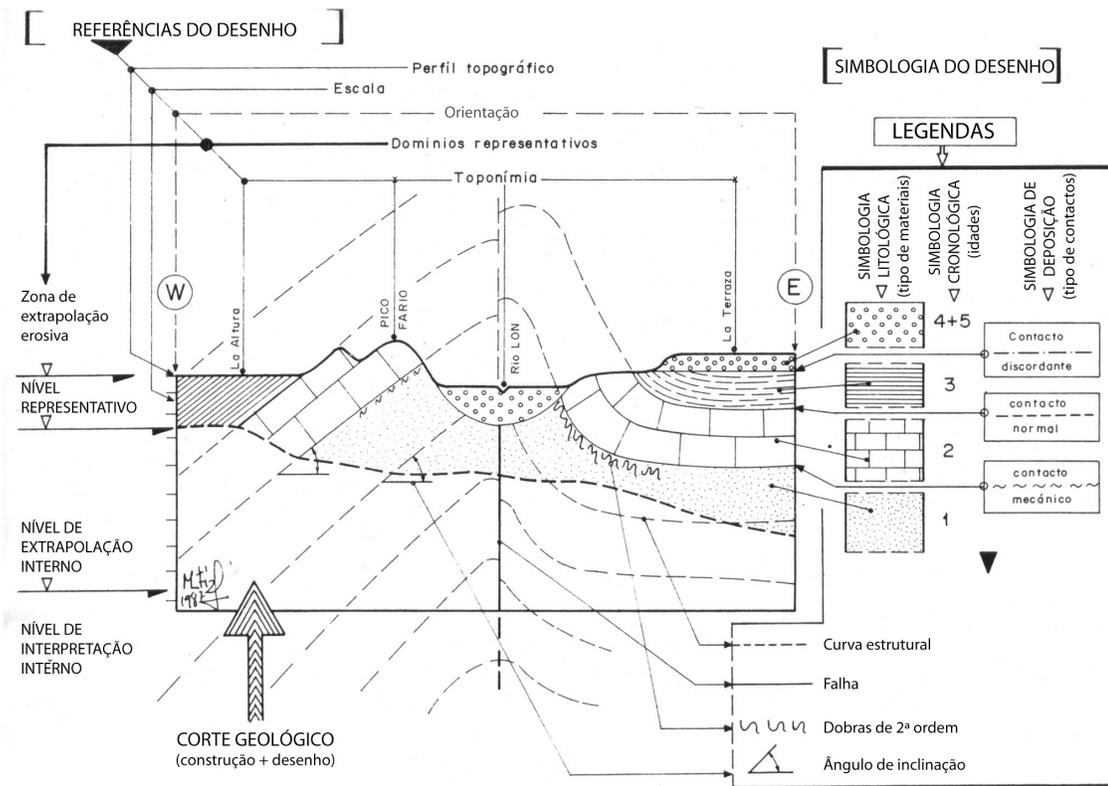


Figura 5. Corte geológico. Esquema de síntese relativo à forma de representação cartodiagramática dos elementos de um corte geológico. (i) principais referências de desenho e sua manifestação no corte; (ii) principais tipos de simbologia e organização das correspondentes legendas; (iii) níveis de desenvolvimento da acção representativa, de acordo com as condições de extrapolação. Adaptado de Martínez-Alvarez (1989).

Interpretação duma Carta Geológica

Consultar publicação recomendada (pp. 37-42, Rebelo, 1999).

Publicação recomendada (As Cartas Geológicas ao Serviço do Desenvolvimento) que pode ser consultada “on-line” na página do LNEG.

http://e-geo.ineti.pt/edicoes_online/diversos/cartas/indice.htm

Referências

Gaspar, J.A. (2004) – *Dicionário de Ciências Cartográficas*. LIDEL – Edições Técnicas Lda, Lisboa, 327 p.

Martínez-Alvarez, J. (1989) - *Cartografía Geologica*. Paraninfo, Madrid, 477 p..

Rebelo, J.A. (1999) – *As Cartas Geológicas ao Serviço do Desenvolvimento*. Instituto Geológico e Mineiro. 56 p.

2.3. Laboratório de dinâmica fluvial

Luís Gonçalves

O texto apresentado é uma adaptação para este “workshop” do texto original publicado em: Cunha A, Nobre A, Almeida AM, Gonçalves AM, Aguiar C, Martins H, Neves I C, Mina I, Pamplona J, Gonçalves L, Forjaz MA, Franco S, Viseu T (2009) *Sentir a Ciência - Manual de Actividades Experimentais*. Cunha A, Almeida AM (Editores). Universidade do Minho, Braga, 216 p.

Resumo

Este *workshop* pretende mostrar um conjunto de técnicas experimentais de dinâmica fluvial, que permitem melhor compreender os diversos processos a ela associados, tais como a erosão, transporte e sedimentação. Pretende-se para tal utilizar um simulador de modelação de relevo, onde será possível observar várias aspectos da dinâmica fluvial (regimes de transporte, processos erosivos, processos de transporte, meios deposicionais, entre outros), bem como apresentar métodos expeditos e didácticos de demonstração de alguns processos fluviais na sala de aula.

1. Introdução

A compreensão da dinâmica fluvial, dos processos que lhe estão associados e, das variáveis que a vão condicionar, é uma tarefa complexa, algo morosa, que requer alguma capacidade de abstracção, particularmente se a aprendizagem que fazemos for apenas baseada em livros.

No entanto, a observação destes processos na natureza permite uma constatação mais célere da dinâmica do meio e dos factores e variáveis que a influenciam.

Infelizmente, os processos geológicos desenvolvem-se, regra geral, em escalas de tempo que não são possíveis de observar durante o período de vida normal de uma pessoa. Mesmos alguns dos processos associados à dinâmica fluvial poderão demorar algumas dezenas, centenas, ou mesmo milhares de anos a desenvolverem-se.

Uma das formas de contornar este problema é a criação de modelos experimentais, à escala, e em ambiente controlado, que permita observar parte ou a totalidade dos processos que se pretende observar. Desta forma é possível verificar o modo como os processos associados à dinâmica fluvial são condicionados quando introduzimos, ou alteramos, determinadas variáveis.

A introdução de modelos experimentais no ensino de processos de dinâmica fluvial, ou de outros processos relacionados com sedimentologia, permitirá ao aluno, através do registo, análise

e interpretação das observações que pode realizar, apreender de uma forma mais expedita e abrangente os processos em questão.

2. Modelo de Simulação Experimental

As forças exercidas pelos cursos de água, nos diferentes terrenos que atravessam, vão esculpindo os seus leitos e, assim, modelando a paisagem. A variação de caudal, as características do substrato rochoso, os declives do terreno e, a variação do nível do mar são factores que influenciam a dinâmica e evolução de um curso de água. Estas variáveis poderão ser repetidas em laboratório, com recurso a modelos de simulação, podendo ser avaliados diferentes parâmetros no sentido de se melhor entender alguns aspectos da dinâmica fluvial.

Para este fim pode-se construir, ou utilizar, um modelo de simulação (Fig. 1) que permitirá a observação de elementos determinantes, tanto na geometria como na dinâmica dos cursos de água.

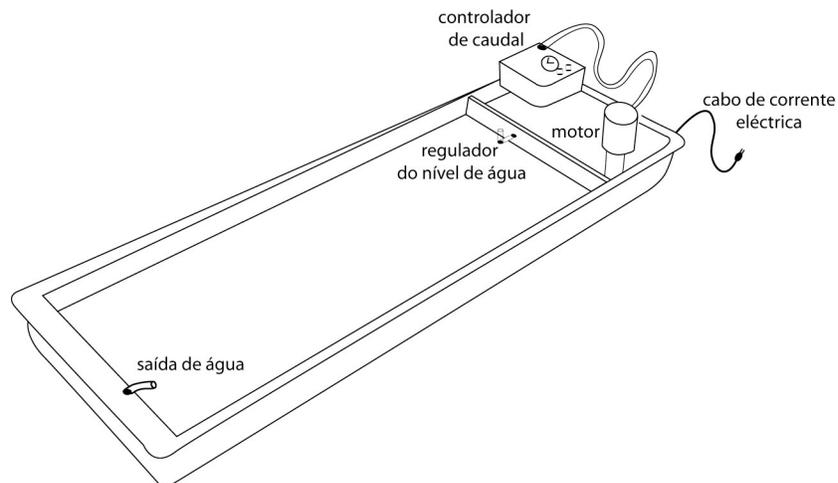


Figura 1 – Simulador de relevo (adaptado de Beckway, 1998 e Booklet n.80 W 5717).

A utilização de um modelo de simulação, como o apresentado na figura 1, e que será utilizado neste workshop, permitirá: Observar diferentes regimes de transporte, de processos erosivos e de deposição de sedimentos; Analisar a influência, no regime de transporte dos cursos de água, da morfologia, das características dos materiais sujeitos a transporte (granulometria, densidade, forma, etc.), da variação de caudais e da subida/descida do nível do mar; entre outros.

Saber representar e analisar resultados.

3. Breve descrição de uma actividade experimental a realizar com o modelo de simulação

3.1 – Actividade: Simulação da evolução de um curso de água

Objectivos:

- observação de diferentes regimes de transporte;
- observação de diferentes processos erosivos (formação de um talvegue com secções rectilíneas e meandriformes, etc.);
- observação de deposição de sedimentos;
- avaliação da influência no regime de transporte dos cursos de água: da morfologia do terreno; das características dos materiais sujeitos a transporte (granulometria); a variação do caudal; a subida/descida do nível do mar.

3.2 - Material

- Simulador de modelação de relevo com um sistema hidráulico acoplado
- Cronómetro
- Marcadores de cor , papel milimétrico, fita métrica, régua
- Sedimentos/solos com granulometria distinta

3.3. - Procedimentos

Quando se observa o curso dos rios, notamos que múltiplas vezes estes são distintos: uns rectilíneos, outros curvos, uns mais caudalosos outros calmos; o mesmo rio com um pouco de tudo.

Talvez a curiosidade científica já vos tenha feito pensar nas razões destas diferenças: também estas experiências pretendem contribuir, fazendo pensar (nem que seja um pouco) nas causas, observando e interpretando os efeitos.

Com esta actividade pretende-se simular a influência da variação de caudal e do nível do mar na evolução de um curso de água. Serão avaliados diferentes parâmetros (velocidade da corrente, largura do curso de água, sentido de progressão dos sedimentos e variação do comprimento do rio).

Os alunos no decurso da simulação deverão registar os dados observados na Tabela 1 (caudal baixo) e na Tabela 2 (caudal elevado).

Fase 1 – Preparação

Antes de ligar o sistema de simulação (Figura 1), verificar se as válvulas de saída de água estão fechadas.

Cubra a mesa de simulação até 2/3 do seu comprimento com areia (a partir da zona mais elevada). De seguida, encha com água a parte da mesa que não tem areia - até uma altura de 3,75 cm (esta pode ser ajustada com a tampa).

Fase 2 – Execução

- a) Abrir a válvula da água com um caudal baixo e com o nível de água no tabuleiro a 3,75 cm.
- b) Calcular e registar a velocidade média da corrente (colocando uma rolha e com o cronómetro medir o tempo que decorre duas marcas colocadas no simulador, uma na cabeceira e outra foz do curso) na totalidade do curso de água e, ainda, avaliar qualitativamente a velocidade em três sectores do curso de água (cabeceira, sector intermédio e foz);
- c) Medir e registar a largura do curso de água em três sectores (cabeceira, sector intermédio e foz);
- d) Verificar e registar o sentido de progressão dos sedimentos na foz do curso de água (sentido montante ou jusante);
- e) Verificar e registar a variação do comprimento do curso de água;
- f) Repetir b), c), d) e e), com o nível de água a 1 cm e, de novo, a 3,75 cm.
- g) Abrir a válvula da água com um caudal alto e com o nível de água no tabuleiro a 3,75 cm. seguidamente repetir b), c), d) e e), com o nível de água a 1 cm e, de novo, a 3,75 cm.

3.4. – Questões para Discussão

- a). Relativamente ao que acontece à velocidade da corrente ao longo do curso de água indique:
 - as variações ocorridas;
 - os locais onde se verificaram as variações;
 - a influência da variação do nível do mar;
- b). As dimensões do curso de água variam ao longo da sua evolução. Atendendo às variáveis em causa indique as modificações observadas (largura e comprimento):
 - descida do nível do mar;
 - subida do nível do mar;
 - aumento do caudal.
- c). Refira as alterações observadas no decurso da experiência, relativamente ao sentido de progressão dos sedimentos, durante:
 - as variações do nível do mar;
 - as variações de caudal.

Tabela 1 - Quadro de registo de observações no decurso da simulação (caudal baixo).

CURSO DE ÁGUA		NÍVEL DO MAR 1	NÍVEL DO MAR 2	NÍVEL DO MAR 3
Velocidade da corrente	Cabeceira			
	Sector central			
	Foz			
	Extensão Total			
Largura	Cabeceira			
	Sector central			
	Foz			
Sentido de Progressão dos Sedimentos na foz				
Comprimento				

* utilizar para a velocidade de corrente as designações qualitativas: menor; intermédia; maior.

Tabela 2 - Quadro de registo de observações no decurso da simulação (caudal elevado).

CURSO DE ÁGUA		NÍVEL DO MAR 1	NÍVEL DO MAR 2	NÍVEL DO MAR 3
Velocidade da corrente	Cabeceira			
	Sector central			
	Foz			
	Extensão Total			
Largura	Cabeceira			
	Sector central			
	Foz			
Sentido de Progressão dos Sedimentos na foz				
Comprimento				

* utilizar para a velocidade de corrente as designações qualitativas: menor; intermédia; maior.

Bibliografia

- Beckway, Gregory (1998) - Stream Table Investigations: Laboratory Manual for the Earth Science Stream Table. Edited by Maurice Schwartz, Hubbard Scientific, 32p.
- Booklet n.º80 W5717 (1977) – Land Form Simulation System: Instructions for set-up and use. Ward's Natural Science Establishment, Inc. pp. 1-8.

3. Excursões de campo

3.1. Geologia do litoral de Viana do Castelo

Ricardo Carvalho, Diamantino Pereira

INTRODUÇÃO

O litoral de Viana do Castelo possui uma paisagem de elevado valor estético que se deve, principalmente, ao seu enquadramento geomorfológico e à diversidade de ambientes geodinâmicos. A faixa costeira, as montanhas litorais e o estuário do Rio Lima, são valências naturais que adquirem especial destaque pela forma como interagem no território (Carvalho et al, 2009).

A plataforma litoral constitui a unidade geomorfológica de expressão territorial mais alargada na paisagem geológica de Viana do Castelo. Encontra-se limitada a poente pela linha da baixa-mar e a nascente pela curva de nível dos 50 metros, cota a partir da qual se desenvolvem as arribas dos maciços litorais de Caminha-Sta Luzia e de Anha. A costa é constituída pela sua parcela mais dinâmica, de constituição essencialmente rochosa, com cerca de 23 km de afloramentos rochosos e praias de seixo, numa extensão total que perfaz cerca de 33 km. As litologias com maior representatividade são os micaxistos quíastolíticos e os quartzitos estes últimos restringidos à Praia Norte e a retalhos em Areosa e Montedor, da Formação de Sta. Justa (Tremadoc/Arenig). Identificam-se outras fácies com menor representatividade pertencentes às Formações da Desejosa (Câmbrico) e de Valongo (Llanvirn), bem como granitóides hercínicos. A intensa erosão que tem afectado, durante as últimas décadas, os aluviões e areias de duna tem contribuído para o incremento dos afloramentos rochosos e conseqüentemente, ampliando os elementos da geodiversidade a que temos acesso. O limite leste da plataforma litoral é definido pela linha de base das vertentes das montanhas litorais e que coincide, grosso modo, a norte e a sul do rio Lima, com um valor de cota entre os 20 e os 30 metros. Este aspecto define a sua principal característica que consiste num relevo de inclinação suave para a costa, embora com largura diferente consoante a posição que os relevos graníticos atlânticos exibem. Para além de constituírem elementos geomorfológicos marcantes na paisagem, tem-se constatado que os relevos litorais estão bem adaptados, nas suas formas gerais e de pormenor, ao controlo dos principais alinhamentos estruturais variscos identificados. Os efeitos do controlo estrutural fazem-se sentir, também, na densa rede hidrográfica que sulca os principais relevos, nomeadamente ao nível das capturas e *knicks* fluviais, e inflexões do curso.

Pretende-se com a presente excursão de campo, identificar e interpretar geoformas a diferentes escalas, que permitem compreender e documentar a evolução geomorfológica deste sector do território, pertencente ao distrito de Viana do Castelo.

Sugere-se a leitura do texto em anexo - Geomorfologia e património geomorfológico do concelho de Viana do Castelo - de forma a obter um enquadramento teórico adequado aos temas a tratar durante a excursão.

O percurso sugerido situa-se entre a foz do Lima e a foz do Minho, com 6 paragens (fig. 1).

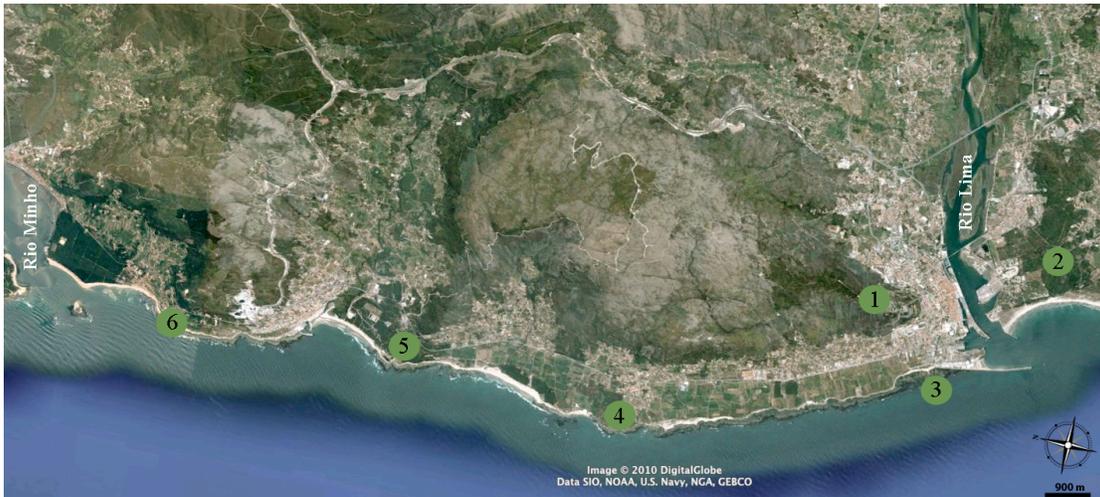


Figura 1 - Localização geográfica das paragens propostas na excursão (imagem do Google Earth®).

O trajecto entre os diferentes geossítios será realizado em autocarro, prevendo-se curtas deslocações a pé, pelo que se aconselha a utilização de calçado e equipamento apropriados.

PROGRAMA

Paragem 1 - 9h00: Miradouro de Sta. Luzia

1. A geomorfologia do Maciço Ibérico e as características locais; análise dos principais aspectos geomorfológicos:

- o encaixe do rio Lima;
- as geoformas fluviais, o desenvolvimento das barras arenosas e das planícies aluviais;
- superfícies de aplanamento dos relevos litorais;
- orientação e basculamento das principais superfícies de aplanamento;
- alinhamentos estruturais com expressão regional;
- morfologia geral da costa;
- costas arenosas vs costas rochosas;

- plataforma litoral e relevos no limite da plataforma litoral.

Paragem 2 - 10h15: Monte Galeão

2. Plataformas e cobertura dunar do Monte de Galeão - 40 metros, 100 metros e 160 metros. A datação e a interpretação paleoambiental da presença de dunas em diferentes plataformas.

Paragem 3 - 11h15: Praia Norte - Rego de Fontes

3.1. As Formações da Desejosa (Grupo do Douro), de Sta. Justa e de Valongo. Breve caracterização e análise da sua expressão na geomorfologia.

3.2. Geoformas associadas à tectónica varisca: o corredor de cisalhamento da Praia Norte, estruturas em dominó, kink-bands, falhas en echelon, estruturas em flor e dobras.

3.3. Identificação das principais unidades geomorfológicas do litoral: superfície fundamental de aplanamento, superfícies embutidas e arribas; o basculamento das superfícies.

3.4. Indicadores paleoambientais da migração da linha de costa: alvéolos biogénicos, sapas levantadas e formações sedimentares costeiras.

3.5. As geoformas de pormenor e a meteorização: honeycombs.

Almoço (Praia Norte) - 12h15

Paragem 4 - 13h15: Praia de Fornelos

4.1. Geoformas costeiras: plataformas marinhas e sapas.

4.2. Tipologia e características das plataformas marinhas.

4.3. Escalonamento de plataformas marinhas.

4.4. Evolução dos pavimentos graníticos: fase III.

4.5. Geoformas de pormenor e meteorização: pias do tipo pan e poltrona, exutórios, Tafoni.

Paragem 5 - 15h15: Forte do Cão

5.1. Terraços marinhos I e II - OIS 7 e 5e.

5.2. Alvéolos de contacto.

5.3. Fases de evolução dos pavimentos graníticos: I, II e III.

5.4. A evolução da meteorização e a prefiguração dos blocos graníticos em bola.

Paragem 6 - 16h30: Moledo - Praia de S. Domingos

6.1. Antropização da paisagem costeira

6.2. Formação de Moledo (S. Domingos)

Geomorfologia e Património Geomorfológico do concelho de Viana do Castelo

R. Carvalho^{1,2}, D. Pereira^{1,2} & J. Brilha^{1,2}

1 - Centro de Geologia da Universidade do Porto

2 - Núcleo de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057, Braga

Palavras – chave: Geoconservação; Geomorfologia, Património Geomorfológico, Viana do Castelo.

1. INTRODUÇÃO

O concelho de Viana do Castelo é caracterizado por uma paisagem de elevado valor estético, que se deve principalmente ao seu enquadramento geomorfológico e à diversidade de ambientes geodinâmicos. A faixa costeira, as montanhas litorais e o estuário do Rio Lima, são valências naturais que adquirem especial destaque pela forma como interagem no território (Fig. 1). Além disso, constituem elementos dinâmicos que interagem com as populações locais, enriquecendo o território com novos valores culturais, materializados no património etnográfico, histórico, arquitectónico e literário, entre outros. A identificação e caracterização destes elementos patrimoniais, bem como a sua interligação, constitui um passo fundamental no sentido da sua valorização, tornando possível a sua rentabilização, mediante promoção e divulgação turística.

Se à partida pode reconhecer-se importante trabalho de investigação e divulgação no domínio das Ciências Biológicas, da Literatura ou da História do concelho de Viana do Castelo, e apesar dos seus valores geológicos terem atraído o interesse de alguns investigadores e levado à publicação de alguns trabalhos ao longo das últimas décadas (Meireles, 1991; Alves, 1995; Alves, 1996; Pamplona, 2001; Ribeiro, 2001; Garrido, 2003; entre outros), a geoconservação e a valorização dos locais de interesse geológico (geossítios) nas perspectivas didáctica e turística, ainda não foi alcançada. A geoconservação compreende um conjunto de acções com vista à inventariação, caracterização, conservação, divulgação e gestão do património geológico (Brilha, 2005), encontrando-se actualmente contemplada no recente Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Biodiversidade (Decreto-Lei nº 142/2008, de 24 de Julho).

O presente trabalho constitui uma contribuição para a sistematização e aprofundamento do conhecimento sobre a geomorfologia do concelho de Viana do Castelo, na perspectiva da evolução da paisagem geológica. Identificam-se os geossítios (locais pontuais e áreas) onde a geodiversidade possui características particulares que permitem conhecer e interpretar os processos e fenómenos geológicos promotores da evolução paisagística da região. Estes geossítios, materializados em geoformas de magnitude diversa, possuem valor patrimonial geomorfológico, cuja conservação deve ser assegurada pelas autoridades locais e nacionais.



Fig. 1 – Área do concelho de Viana do Castelo representada sobre imagem obtida a partir do Google Earth ©. Escala na costa de Viana do Castelo (1:220000). A escala varia de acordo com a perspectiva.

2. METODOLOGIA

O estudo baseou-se na análise geomorfológica prévia através do software Google Earth®, pesquisa bibliográfica, manipulação de dados cartográficos em ambiente SIG - ESRI ArcGis© e em trabalho de campo. As geoformas identificadas e caracterizadas foram seleccionadas de acordo com critérios como a representatividade, a raridade, a utilidade como modelo para ilustrar processos geológicos, a diversidade de elementos geológicos, a integridade e a associação com outros elementos (Lima, 2008), tendo em conta os seus valores científico e cultural.

A abordagem à área em estudo foi segmentada em três domínios geomorfológicos distintos, constituindo unidades paisagísticas com valor diferenciado: *i)* a orla e a plataforma litoral; *ii)* as montanhas; *iii)* o estuário e a plataforma aluvial. No presente estudo foram contemplados alguns geossítios nas imediações do concelho de Viana do Castelo, nomeadamente em Ponte de Lima e Caminha, por se ter verificado existir continuidade lateral dos processos geomorfológicos em análise.

3. RESULTADOS

3.1 DOMÍNIO COSTEIRO

A orla litoral do concelho de Viana do Castelo, em especial o seu sector intertidal, permite-nos observar algumas das geoformas mais características da região. Os afloramentos rochosos e geoformas que consistem presente objecto de estudo, circunscrevem-se ao polígono definido entre a linha de costa no sector Gelfa – Neiva e a base das vertentes ocidentais do maciço de Sta. Luzia e de Anha, estando balizado a norte e a sul pelos paralelos 41°47'49.29''N e 41°37'51.03''N, respectivamente (Fig. 2).



Fig. 2 - Enquadramento do litoral do concelho de Viana do Castelo.

Em virtude do intenso desnudamento a que esta área tem sido sujeita durante as últimas décadas, facto que é comprovado pela desactualização da área aflorante de aluviões e areias de duna representada nas cartas geológicas mais antigas (Teixeira *et al.*, 1970), esta zona do território tem-se constituído como um local de acelerada evolução da paisagem, tendo posto a descoberto elementos da geodiversidade que estiveram ocultos sob as amplas manchas dunares e a que agora temos acesso. Por se constituir como um dos pólos turísticos de maior impacto económico na sociedade, ser de fácil acesso e por se encontrar invariavelmente exposta aos agentes modeladores da paisagem, esta porção do território é uma área de excelência para apreciar a geodiversidade, entender o seu significado e promover a sua protecção, valorização e divulgação.

A plataforma litoral situada a norte da foz do Lima tem uma orientação geral rectilínea, segundo NNO-SSE, apresentando uma largura que oscila entre os 500 e os 2000 metros, valores apurados entre a linha de costa e a curva de nível dos 50 metros, cota a partir da qual a arriba atlântica do maciço de Sta Luzia cresce com forte pendor. Salientamos ainda que o desenvolvimento máximo e mínimo da plataforma litoral norte atinge os seus limites na mesma unidade geomorfológica (Cão-Montedor), facto que poderá estar relacionado com a presença do sistema de desligamentos tectónicos Vile-Montedor e Orbacém/Montedor. Estas falhas controlam quer a largura da plataforma, quer a sua

direcção dominante, uma vez que este é também o único sector onde o rebordo interior da plataforma litoral assume a direcção NE-SW (numa extensão de 2 km), comparativamente aos restantes troços litorais alinhados por NW-SE (inclusivamente a sul do Lima). Entre a colina de Montedor e a Areosa (lugar do Meio), a plataforma desenvolve-se constantemente à largura de cerca de 1000 metros, encurtando para cerca de metade entre o sector litoral da cidade (Praia Norte) e a cabeceira da plataforma onde a cidade se encontra implantada. A sul do Lima, a plataforma litoral apresenta-se mais penetrante, ultrapassando os 6 km entre a colina de Anha (Monte Galeão) e a Corga, de encontro ao rebordo interior do relevo de Vila Fria. Em Darque - Anha (Galeão), atinge os 1600 metros, alcançando cerca de metade no sector da colina da Corga.

Identificou-se, no troço em estudo Gelfa/Neiva (Viana do Castelo), um total de vinte geossítios essencialmente com interesse geomorfológico (formas residuais, costeiras, tectónicas e de vertente), com valor científico, didáctico e turístico, distribuídos por nove sectores (Quadro 1).

Quadro 1 - Geossítios da faixa costeira do litoral do concelho de Viana do Castelo.

SECTOR	GEOSSÍTIOS	GEOFORMAS	INTERESSES
Gelfa-Cão	Praia da Gelfa	Alvéolos de contacto, por encosto da formação areno-pelítica em formação granítica subjacente	Estratigráfico Geoquímico
	Forte do Cão (sector norte)	Pedúnculos graníticos	Geomorfológico Estrutural
	Forte do Cão	Terraço marinho Quaternário	Estratigráfico Sedimentológico
		Pavimento antrópico de idade Pré-Medieval	Estratigráfico Paleontológico
	Forte do Cão (sector sul)	Prefiguração de bolas em pavimento granítico	Geomorfológico Estrutural
	Praia do Cão	Esfoliação, pseudoestratificação e formas em A em pavimentos graníticos	Geomorfológico Geoquímico
Afife-Paçô	Afife-Paçô	Linha tectónica de Montedor	Geomorfológico Estrutural
	Fortim de Montedor	Pavimento granítico de matriz ortogonal do tipo <i>Kluftkarren</i>	Geomorfológico Tectónico
		Esfoliação em blocos graníticos	Geomorfológico Geoquímico
Montedor	Moinho do Marinheiro	Sistemas de pias do tipo <i>pan e poltrona</i> , com exutórios	Litológico Geoquímico
	Praia de Fornelos	Pavimentos com fracturação poligonal	Estrutural Geoquímico
		Níveis de praias do Quaternário	Geomorfológico Estratigráfico
		Insculturações pré-romanas em blocos graníticos e plataforma costeira Eemiana	Cultural Estratigráfico
		Pavimento granítico ondulado	Geomorfológico Geoquímico
Alcantilado de Montedor	Alcantilado de Montedor, resultado do recuo paralelo das vertentes graníticas	Geomorfológico Geoquímico	
Carreço	Praia de Carreço	Campo de blocos graníticos em bola	Geomorfológico Estrutural
	Praia do Lumiar	Sistema de salinas de idade Romana	Estratigráfico Cultural
Areosa	Praia do Porto da Vinha	Depósitos lacustres Quaternários	Estratigráfico Sedimentológico

	Fortim da Areosa	Microgeoformas alveolares de Ouriços-do-mar	Estratigráfico Geoquímico
	Meio - Areosa	Superfície embutida na vertente atlântica da serra de Sta Luzia	Geomorfológico Estrutural
Norte	Praia do Norte	Corredores sobre charneiras de dobras de quartzito do Ordovícico	Geomorfológico Geoquímico
Foz do Lima	Estuário do Lima	Sistema de ínsuas bem desenvolvidas no estuário do Lima	Geomorfológico Sedimentológico
Darque-Anha	Monte do Galeão	Superfícies embutidas a 40 e 100 metros, e culminante a 150 metros.	Geomorfológico Estrutural
	Foz do Ribeiro de Anha	Marmita de gigante do ribeiro de Anha	Geomorfológico Estrutural
Amorosa	Praia da Amorosa	Concavidades em micaxisto quiastolítico, resultado da coalescência de marmitas	Estrutural Geoquímico
		Campo de geoformas em cunha em micaxisto quiastolítico	Geomorfológico Estrutural

3.1.1. Sector Gelfa-Cão

Geossítio da Praia da Gelfa - Cavidades alveolares de contacto. Estas estruturas são formadas por meteorização química em rochas graníticas, em resultado do contacto com a *Formação Areno-Pelítica de Cobertura* (Fig. 3A, 3B e 3C). Este depósito sedimentar apresenta uma fracção grosseira importante, essencialmente de seixos de quartzito, envolvida por uma matriz fina, essencialmente arenosa. A presença de minerais de argila na matriz do depósito, cria um interface permanentemente húmido entre a fracção grosseira e o substrato rochoso. Neste sector do litoral, as rochas aflorantes e que servem de encosto à formação de cobertura são os granitóides hercínicos, que se revelam instáveis do ponto de vista geoquímico em condições sub-aéreas e de superfície, com humidade permanente. Em contacto permanente com os clastos rodeados de matriz com conteúdo em argila, ocorre a fossilização do diâmetro do seixo, por meteorização química preferencial. Torna-se possível, mediante o conhecimento deste processo geológico, reconstruir a paleocobertura da fracção grosseira da *Formação Areno-Pelítica de Cobertura*, uma vez que estas geoformas de pormenor continuam preservadas nas paredes laterais dos granitóides, mesmo após a erosão do depósito. Estas estruturas alveolares são muito semelhantes a outras que se identificam na costa, contudo provenientes de evolução por haloclastia. Diferenciam-se em relação aos alvéolos de contacto, por normalmente exibirem 1) secção assimétrica com exagero da metade inferior; 2) concavidade assimétrica com formação de sulco na metade inferior com acumulação de água; 3) tendência para coalescer com alvéolos adjacentes, podendo formar estruturas intermédias, em trave e 4) desenvolvimento preferencial em paredes laterais, raramente em posição horizontal. Os alvéolos de contacto, quando exumados, podem favorecer a evolução por processos de haloclastia ou facilitar a instalação de organismos como bivalves, cracas ou ouriços-do-mar.



Fig. 3 - Geossítio da Praia da Gelfa (A, B, C).

Geossítio do Forte do Cão I - Aspecto típico do pavimento granítico a norte do Forte do Cão (Fig. 4A). Podem observar-se duas etapas distintas do processo erosivo que afecta os pavimentos poligonais graníticos: a média, de natureza peduncular, e a terminal, de traço típico ondulado. A fase inicial – poligonal – não está, neste local, representada. Estas geoformas constituem uma relíquia do processo de dismantelamento das lajes graníticas expostas a meios hidrodinâmicos. A atitude e o padrão da rede de fracturação local, bem como a sua associação com os alinhamentos tectónicos regionais, permitiram o desenvolvimento de um pavimento granítico de matriz ortogonal, condição essencial para o óptimo desenvolvimento desta geoforma.

Geossítio do Forte do Cão II - Terraço marinho de fácies conglomerática, aflorante sob as areias de duna (Fig. 4C). Esta geoforma testemunha um nível marinho cerca de 6 metros mais elevado que o actual, provavelmente contemporâneo dos indícios de Montedor, dada a similitude altimétrica e o carácter dos processos envolvidos na génese destas geoformas. Sobre o terraço marinho identifica-se um pavimento antrópico (Meireles, 1991) coberto pelo sistema dunar Afife-Gelfa, de idade pós-medieval (Fig. 4B).

Geossítio do Forte do Cão III - Lajedo granítico do Cão-Gelfa onde é possível identificar a prefiguração de bolas graníticas que evoluem por acção combinada dos processos de diaclasamento, meteorização e esfoliação (Fig. 4D). Importa realçar que largura da malha de diaclasamento é o factor limitante do desenvolvimento destas geoformas.

Geossítio da Praia do Cão - Estádios médio e terminal de evolução da paisagem granítica local que deverá culminar, à semelhança do sector meridional de Montedor, com uma paisagem em blocos (Fig. 4E). Em primeiro plano figura o processo de maturação da bola cuja prefiguração teve lugar numa rede de diaclases localmente espaçada, evoluindo por pseudoestratificação e esfoliação, e tectónica recente, denunciada pelas *formas em A (A-Tent)* que surgem naquele pavimento. Em último plano aflora em relevo um bloco granítico do tipo bola, intensamente fracturado, alongado segundo o eixo E/O.

3.1.2. Sector Afife-Paçô

Geossítio do Fortim de Montedor (Paçô) - Pavimento granítico do tipo *Kluftkarren* instalado em corpo filoniano aplítico (largura transversal da estrutura fotografada, 2 metros) (Fig. 4F). Nas imediações evidenciam-se etapas ulteriores de evolução deste pavimento, que mostram formas precursoras pedunculadas. A textura e a natureza química dos minerais do corpo filoniano dificultam a erosão superficial dos tetrágonos, potenciando o efeito modelador da meteorização que ocorre na base das fendas.



Fig. 4 – Geossítios do Forte do Cão (A, B, C, D, E) e do Fortim de Montedor (F).

Geossítio de Afife/Paçô - Plataforma plio-quadernária litoral, cuja extensão é máxima neste sector (2000 metros de largura) e cuja planura é interrompida pela colina de Montedor (farol de Montedor, 103 m) (Fig. 5A). O alinhamento tectónico Montedor-Cabanas (NE-SW) delimita a face norte de Montedor e a vertente NO da Serra de Sta Luzia (junto a Afife) que aí se desenvolve com altitude mais modesta e de pendor reduzido.

O padrão de alinhamentos estruturais apurados para o sector Carreço-Gelfa (Fig. 6) permite deduzir a sua importância no controlo das superfícies embutidas de Montedor (+50 metros) e de Cabanas (+75 metros) (Afife), bem como no desenvolvimento da superfície culminante da Serra de Sta. Luzia.

Geossítio do Fortim de Montedor (Paçô) - Esfoliação activa em bola granítica (3 metros de largura transversal na base), alongada segundo o eixo E-O, nas imediações do Forte do Paçô, na praia com o mesmo nome (Fig. 5B). Identifica-se na imagem, à esquerda, um fragmento rochoso de grande espessura, destacado do bloco principal, que deverá constituir uma relíquia das etapas prévias de maturação daquela geofoma, associada ao desenvolvimento de linhas de tensão geradas no anticlinal de Sta Luzia.

3.1.3. Sector de Montedor

Geossítio do Alcantilado de Montedor - Panorâmica sobre a plataforma inferior do relevo de Montedor, que se desenvolve à cota máxima de 25 metros (Fig. 5C). Identificam-se algumas geofomas-relíquia, como lajedos graníticos e bolas de aspecto alongado, confinadas aos alinhamentos E-O. Estas estruturas exibem frequentemente traços de processos subaéreos, como as pias, a maioria de fundo plano e associadas a exutórios. Identificam-se também caneluras. Muitas destas geofomas preservam indícios de terem sido retrabalhadas posteriormente à exumação da superfície topográfica, por acção dos elementos da geodinâmica externa, que activaram essas estruturas prévias em processos de escorrência superficial na arriba. Acima desta superfície fundamental, desenvolve-se uma outra entre os 40 e 50 metros, embutida na superfície culminante de Montedor, que apesar de dispor de extensão muito reduzida, alcança os 65 metros. As arribas que separam as superfícies atingem cerca de 12% de pendor.



Fig. 5 - Geossítios da Praia de Afife (A), do Fortim (B) e de Montedor (C).

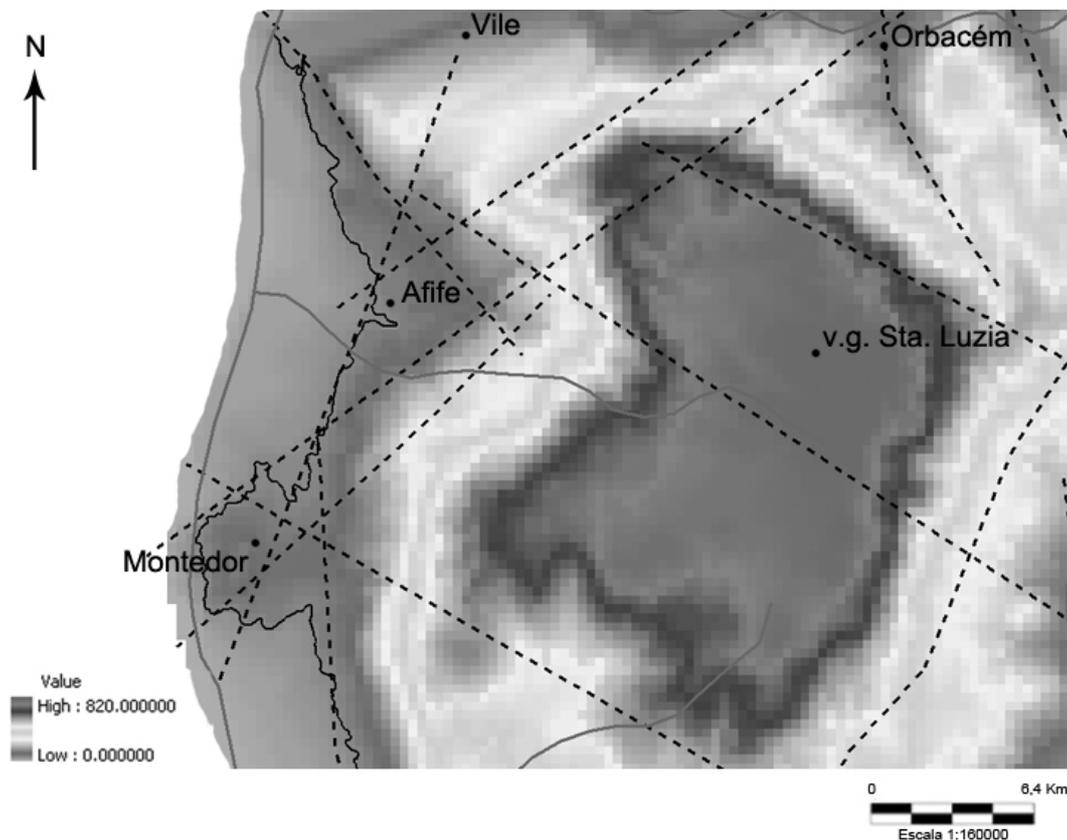


Fig. 6 - Alinhamentos estruturais no sector Montedor/Afife/Sta. Luzia (escala 1:140000).

Geossítio da Praia de Fornelos - Marmita-de-gigante e sapa (largura transversal média das estruturas, 70 cm), em primeiro e segundo planos, respectivamente, talhados em bloco granítico na vertente meridional da colina de Montedor (Fig. 7A). Estas estruturas, cuja origem deverá ser contemporânea, revelam um nível de praia antiga, 8 metros acima do nível actual das águas do mar, provavelmente os que se registaram no período *Eemiano* (OIS 5e) (Cuffey, 2000), há sensivelmente 120 mil anos, durante o último interglaciário, permitindo-nos reconstruir o nível litoral de então. A existência de alinhamentos de fracturação, que no litoral minhoto se organizam sub-perpendicularmente à linha de costa, parecem cumprir um papel essencial na formação destas estruturas, criando corredores que potenciam o poder erosivo da água.

Geossítio do Moinho do Marinheiro - Sistema de pias desenvolvido na face atlântica da colina de Montedor (largura média da estrutura fotografada, 100 cm), entre as cotas dos 20 e 35 metros (Fig. 7B). A maioria das geofomas identificadas apresentam-se de secção topográfica circular e elíptica, de fundo plano e não associadas a qualquer alinhamento tectónico ou de fracturação. Identificam-se

algumas pias de forma lobada e lateralmente vazadas, associadas, quase invariavelmente a exutórios, deixando antever processos de coalescência. Estas depressões devem associar-se à escorrência superficial decorrente do recuo da vertente granítica de Montedor, segundo pós-exumação do manto de alteração sobrejacente, em condições de aridez/sub-aridez (Romani & Twidale, 1998). As pias são do tipo *pan* e *poltrona* (Twidale, 1982).

Geossítio da Praia de Fornelos - Fracturação poligonal sobre laje sub-horizontal de granito pseudoestratificado de aspecto esbranquiçado na vertente oeste da colina de Montedor (Fig. 7C). O padrão da fracturação varia entre o ortogonal, pouco representado, formando placas de quatro lados e o dendrítico, produzindo figuras poliláteras de dez e mais lados, amplamente difundido no maciço. Pode encontrar-se ainda fracturação radial. Estas geoformas que segundo Romani & Twidale (1998), terão origem sub-aérea e resultam da incrustação de iões de Ferro, Manganésio e Silício circulantes na frente de alteração (provoca aumento de volume, arqueamento e fracturação da rocha), reforçam a origem e a provável contemporaneidade do sistema de pias identificado. Este processo deverá ainda responder à extensa cobertura, em pátine, dos granitos da frente do maciço, bem como à formação de arenito de matriz siliciosa, cuja relíquia se pode encontrar no sopé da mesma colina.



Fig. 7 - Geossítios do Moinho do Marinheiro (B) e Praia de Fornelos (A, C).

Geossítio da Praia de Fornelos - Afloramento granítico em vertente, com conteúdo arqueológico datado da Idade do Bronze (Almeida, 2008). Identifica-se na base da laje insculturada, uma superfície estreita (40 centímetros de largura) à cota de 8 metros, que deverá constituir o retalho de uma plataforma litoral mais ampla. No local há outras relíquias de superfícies à mesma cota, bem como outras geoformas como as sapas e as marmitas-de-gigante (Fig. 8A).

3.1.4. Sector de Carreço

Geossítio da Praia de Carreço - Blocos graníticos em bolas na praia de Carreço, no sector meridional da colina de Montedor, encaixadas em xisto quiastolítico da *Formação Sta. Justa* (Fig. 8B). Estas geoformas, que constituem alguns núcleos residuais da paisagem granítica mesoceno-zóica, exibem algumas microestruturas de meteorização como o aspecto picotado (areado) generalizado, alvéolos e formas diversas, principalmente dispostas na faixa inferior das paredes laterais, do tipo *tafoni*. São visíveis outras estruturas como caneluras, as pias isoladas do tipo *pan*, pontualmente pseudoestratificação e padrões de fracturação ortogonal e dendrítica.



Fig. 8 - Geossítios da Praia de Fornelos (A) e da Praia de Carreço (largura da base do bloco da esquerda, 3 metros) (B).

Geossítio da Praia de Fornelos - Pavimento ondulado de Montedor, na zona intertidal (Fig. 9A). Esta geoforma constitui uma etapa terminal do dismantelamento das lajes graníticas expostas a ambientes de forte dinâmica, como o costeiro, e onde estão presentes alinhamentos estruturais de matriz preferencialmente (sub)ortogonal e relativamente tensa. Estas condicionantes estruturais ocorrem neste geossítio que constitui um local único para as apreciar. Ainda que a fase prévia - peduncular - já não seja possível contemplar, é visível, para além da ortogonalidade dos alinhamentos tectónicos E-O/N-S, a presença de inúmeros filões quartzosos que conferem pontualmente um carácter rejuvenescido àquela plataforma.

3.1.5. Sector de Areosa

Geossítio da Praia do Lumiar - Sistema de salinas de idade provável proto-Romana (Almeida, 2008) (Fig. 9B). Estas salinas (eixo principal da maior salina fotografada, 60 cm), segundo dados do mesmo autor, eram usadas não por inundação directa, mas mediante o transporte de água salgada até aos locais de cultura. A evaporação da água abastece as populações castrejas de sal marinho.

Geossítio da Praia do Porto da Vinha - Depósito de carácter limo-argiloso aflorante sob a praia de seixo no sector a montante do Fortim da Areosa (Fig. 9C). Este depósito sedimentar com macrorestos vegetais, pode ser correlacionado com os depósitos estudados no litoral de Esposende e Apúlia, os mais antigos datados de há cerca de 5000 anos e que indiciam a presença de um sistema lagunar previsivelmente afastado da zona de rebentação e que segundo dados de García-Amorena *et al.* (2007), estaria nas imediações de uma floresta de elementos vegetais do género *Pinus* e *Alnus*. Identificámos estes depósitos, ainda que com variações sedimentológicas e de posição estratigráfica relativamente a outras formações, ao longo da orla litoral norte, estando aparentemente ausentes a sul, entre a foz dos rios Lima e Neiva.



Fig. 9 - Geossítios da Praia de Fornelos (A), da Praia do Lumiar (B) e da Praia do Porto da Vinha (C).

3.1.6. Sector do Norte

Geossítio do Meio/Areosa - Vista panorâmica da arriba fóssil atlântica da Serra de Sta Luzia (Fig. 10A). Observa-se em primeiro plano a plataforma litoral que é caracterizada por uma planura quase

perfeita. Acima da Estrada Nacional 13 pode observar-se uma pequena arriba de pendor médio local de 12%, a qual se preserva o entalhe de uma pequena plataforma, com uma área aproximada de 8 hectares. Esta estrutura constituirá um retalho de uma superfície maior que previsivelmente terá existido, tendo sido entretanto desmantelada. Acima desta superfície e a delimitar a superfície culminante da serra, desenvolve-se a arriba fóssil principal, com declives superiores a 45% (Fig. 11).

Geossítio do Fortim da Areosa - Alvéolos desabitados de ouriços-do-mar cujo biótopo coincide com o ambiente infra-litoral, na zona intertidal, com 3 cm diâmetro médio (Fig. 10B). Estas geoformas afloram ao longo de uma magra faixa costeira, no sector setentrional do Fortim da Areosa, por várias dezenas de metros. A posição geográfica actual do biótopo dos ouriços-do-mar encontra-se sensivelmente a 300 metros desses testemunhos, na direcção do oceano. Foram também encontrados, na mesma área, alvéolos desabitados no topo de afloramentos de xisto quiastolítico a uma altitude aproximada de 10 metros sobre o actual nível do mar.

Geossítio da Praia do Norte - Corredor alinhado segundo NO-SE, a sul do Fortim da Areosa, na Praia Norte (Fig. 10C). Esta geoforma estrutura-se em quartzitos da Formação de Sta Justa que neste sector afloram em dobras de plano axial subvertical de eixo fracamente mergulhante. Apesar do quartzito constituir uma litologia extremamente resistente à meteorização química, as tensões mecânicas na charneira de dobra induzem a fracturação que fragiliza o quartzito. Este corredor, ou *canal*, como apelidam os pescadores, encontra paralelo na praia da Amorosa, motivado por processo semelhante.

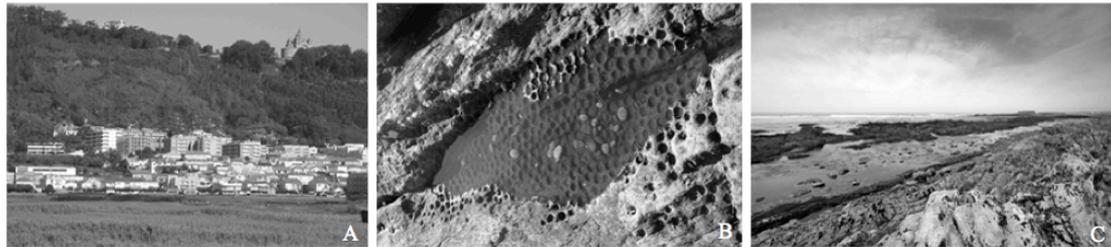


Fig. 10 - Geossítios do Meio (A), do Fortim da Areosa (B) e da Praia do Norte (C).

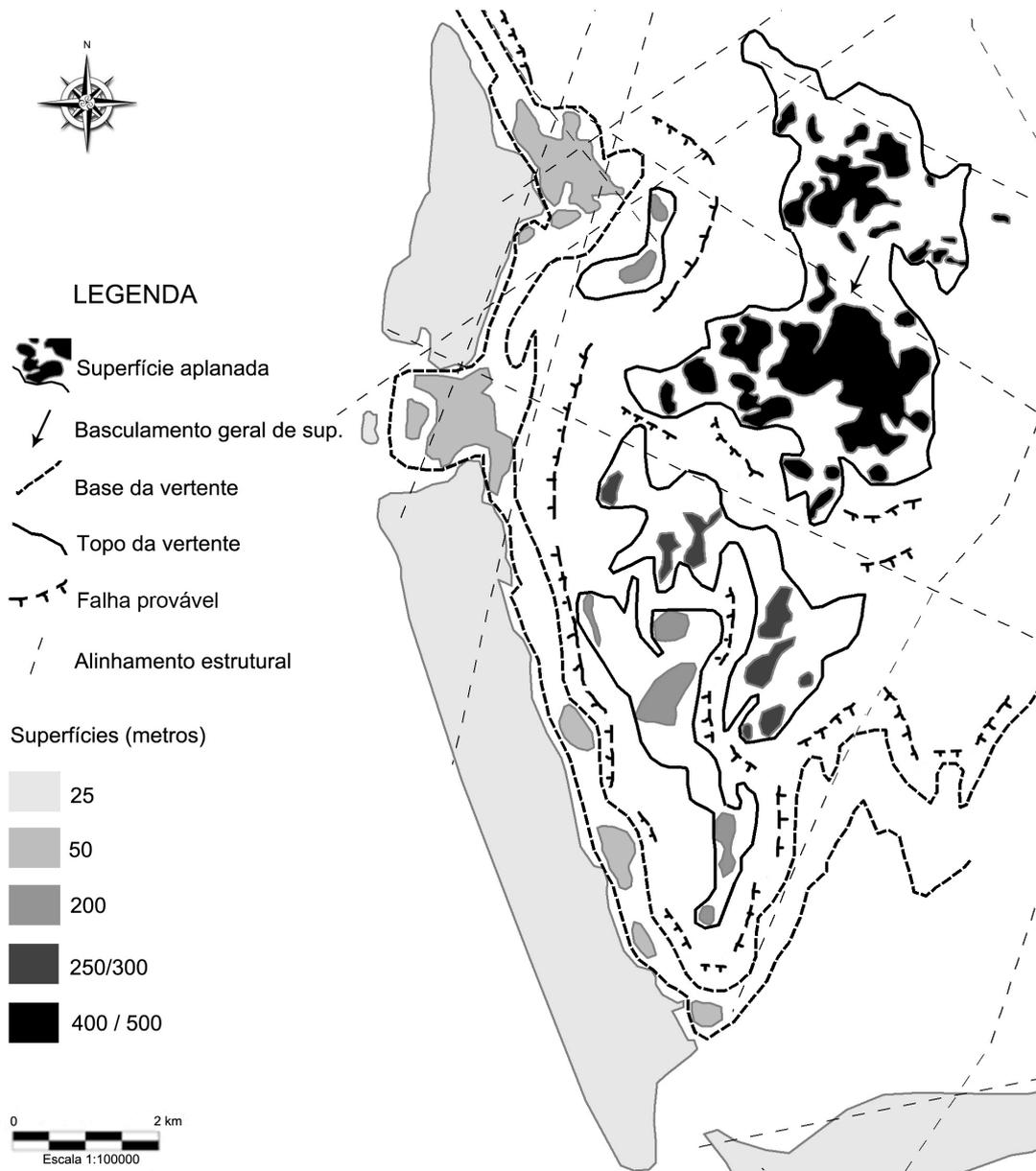


Fig. 11 - Esboço geomorfológico do sector litoral a norte do Rio Lima.

3.1.7. Sector de Darque-Anha e da Foz do Lima

Geossítio da Foz do Ribeiro de Anha - Marmita-de-gigante parcialmente erodida, de secção circular e fundo côncavo, com 140 cm de profundidade, na porção vestibular da Ribeira de Anha (Fig. 12A). A estrutura interna preserva o que aparentam ser três níveis de estacionamento do fluxo dinâmico, marcados por protuberâncias anelares na parede interior da marmita. A hemi-porção da geoforma associada ao talvegue da ribeira foi totalmente erodida, pelo que a evolução desta estrutura poderá estar só parcialmente associada àquele curso de água, exactamente a fase de erosão e eventualmente a abrasão do fundo da marmita. As fases precoces, associadas a outros indícios locais como as sapas levantadas, poderão estar associadas a outro sistema fluvial, como o Lima, que poderia ancestralmente ter neste local a sua desembocadura.

Geossítio do Monte do Galeão - Vista panorâmica sobre a face norte, voltada ao Lima, do Monte do Galeão (Fig. 12B), no compartimento tectónico do Galeão, individualizado por quatro alinhamentos estruturais, nomeadamente 1) a SE - Amorosa/Meixedo; 2) a SW - Neiva/Cabedelo; 3) a NW - Rodanho/Meadela/Perre e 4) a N - Rio Lima (Fig. 14A). No corpo da geoforma é possível individualizar três superfícies aplanadas (Fig. 13) que definem a vertente atlântica daquele maciço granítico. Estas superfícies encontram-se regularizadas por depósitos arenosos, de espessura variável e exibindo estratificação entrecruzada (Fig. 15). As análises dimensionais efectuadas sobre os sedimentos colhidos nas várias plataformas, apontam para depósitos de igual composição granulométrica (Fig. 16C), exclusivamente de areia média ($1,51 < \phi < 1,71$) (Shepard, 1954), estando ausentes outras dimensões (Fig. 16A). Geneticamente e de acordo com a projecção dos dados dimensionais nos diagramas de Friedman (Fig. 23B) - *Mean Cubed Deviation vs Standard Deviation* (com resultados idênticos para os diagramas - *Skewness vs Standard Deviation* e *Skewness vs Simple Sorting Measure*), todos os sedimentos arenosos analisados têm proveniência do ambiente de praia, ficando excluída a origem fluvial. Os dados das análises morfométricas efectuadas (Fig. 14B), bem como dos parâmetros de Folk&Ward obtidos, comprovam a origem eólica dos depósitos arenosos, que se apresentam invariavelmente bem calibrados ($\delta < 0,5$) e de feições roladas a sub-roladas (Powers, 1953). As superfícies identificadas estão definidas às cotas aproximadas de 30/40 metros, 100/110 metros e 150/160 metros (Fig. 13).



Fig. 12 - Geossítios do Ribeiro de Anha (A) e do Monte Galeão (B).

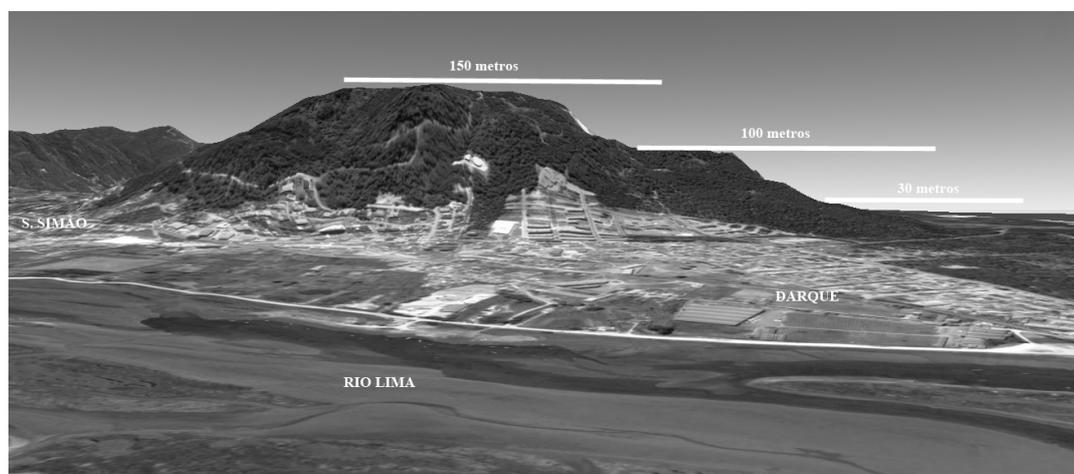


Fig. 13 - Plataformas do Monte do Galeão, definidas a diferentes altitudes.

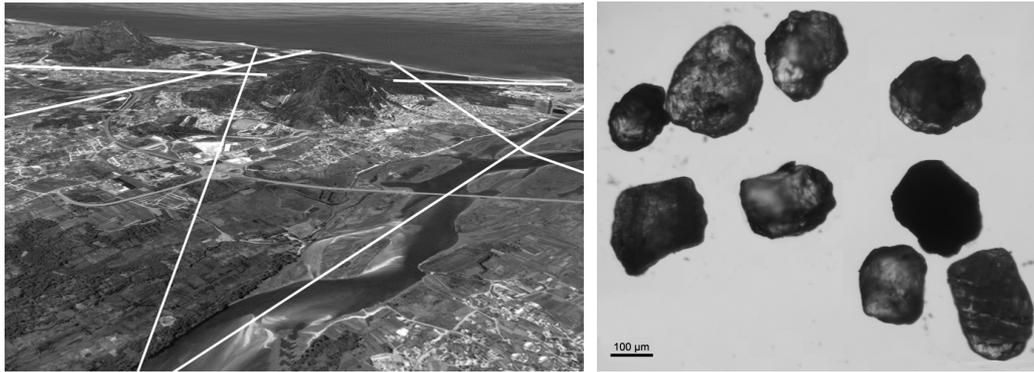


Figura 14 - A) Alinhamentos estruturais que delimitam o micro-bloco de Galeão; B) Fotografia de grãos de quartzo da plataforma embutida do Monte Galeão (+100 metros), analisados à lupa binocular.



Fig. 15 - Estrutura dos depósitos de areia da plataforma embutida do Monte Galeão (+100 metros), evidenciando estratificação cruzada.

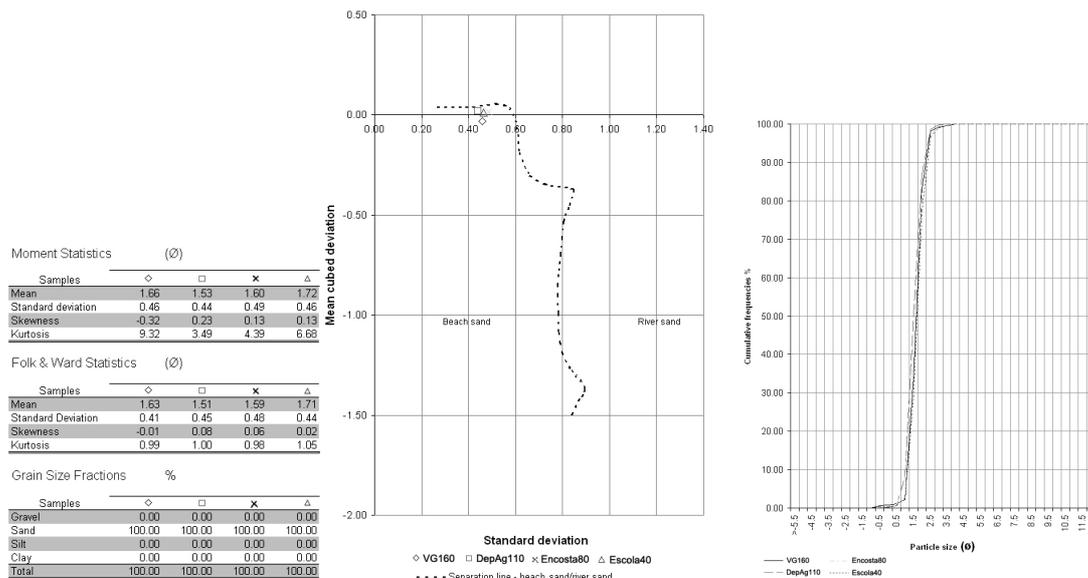


Fig. 16 - A) Dados estatísticos de Momento, Folk&Ward e Frações granulométricas de amostras de areia colhidas nas 3 plataformas do Monte Galeão (+40, +100 e +160 metros) e num retalho aplanado,

na encosta atlântica, a 85 metros; B) Projecção dos dados da crivagem no Diagrama de Friedman MCD/SD; C) Projecção de frequências acumuladas por dimensão de partícula. Os dados foram processados pela aplicação SEDMAC (Henriques, 2003).

3.1.8. Sector da Amorosa

Geossítio da Praia da Amorosa - Afloramento de micaxisto andalusítico, na Praia da Amorosa (Fig. 17A). O aspecto geométrico deste geossítio é conferido por várias dezenas de plataformas em cunha (andamento médio, 4 metros), cuja génese está associada à existência de um plano de fracturação dominante, de pendor médio 72° (NO). Os contornos da geoforma são definidos pelas direcções de xistosidade - N142° - e pelo principal alinhamento hercínico N60°.

Geossítio da Praia da Amorosa - Marmita de gigante em evolução sobre micaxisto quiastolítico (largura média da estrutura fotografada - 120 cm), na Praia da Amorosa (Fig. 17B). Esta geoforma é gerada no cruzamento dos alinhamentos característicos deste sector - xistosidade (N142°) e fracturação hercínica (N60°) - que induzem na zona de intercepção a formação de nós de fragilidade, onde a acção meteorizante e erosiva actua de forma mais incisiva.

Geossítio da Praia da Amorosa - A formação de núcleos vazados no interior das rochas aflorantes (diâmetro médio da estrutura fotografada - 3 metros), de perfil geral convexo-côncavo, resulta da coalescência de marmitas de gigante, formando clareiras que vão aumentando de diâmetro à medida que estas se vão aglutinando com outras estruturas idênticas (Fig. 17C). Estas estruturas não são exclusivas deste tipo de litologia, encontrando-se igualmente presentes nos granitóides aflorantes na praia do Cabedelo, a norte deste local.



Fig. 17 - Geossítios da Praia da Amorosa (A, B, C).

3.2 DOMÍNIO MONTANHOSO

A unidade paisagística de montanha constitui o traço diferenciador do relevo, opondo-se ao carácter monótono imprimido pelas superfícies baixas das plataformas litoral e aluvial, e do estuário. Em termos geomorfológicos e a norte do curso do Rio Lima, afloram os maciços graníticos da Serra de Sta Luzia e da Serra de Arga, rodeados por elevações menos importantes, nomeadamente de rochas metassedimentares como o xisto (Fig. 18).

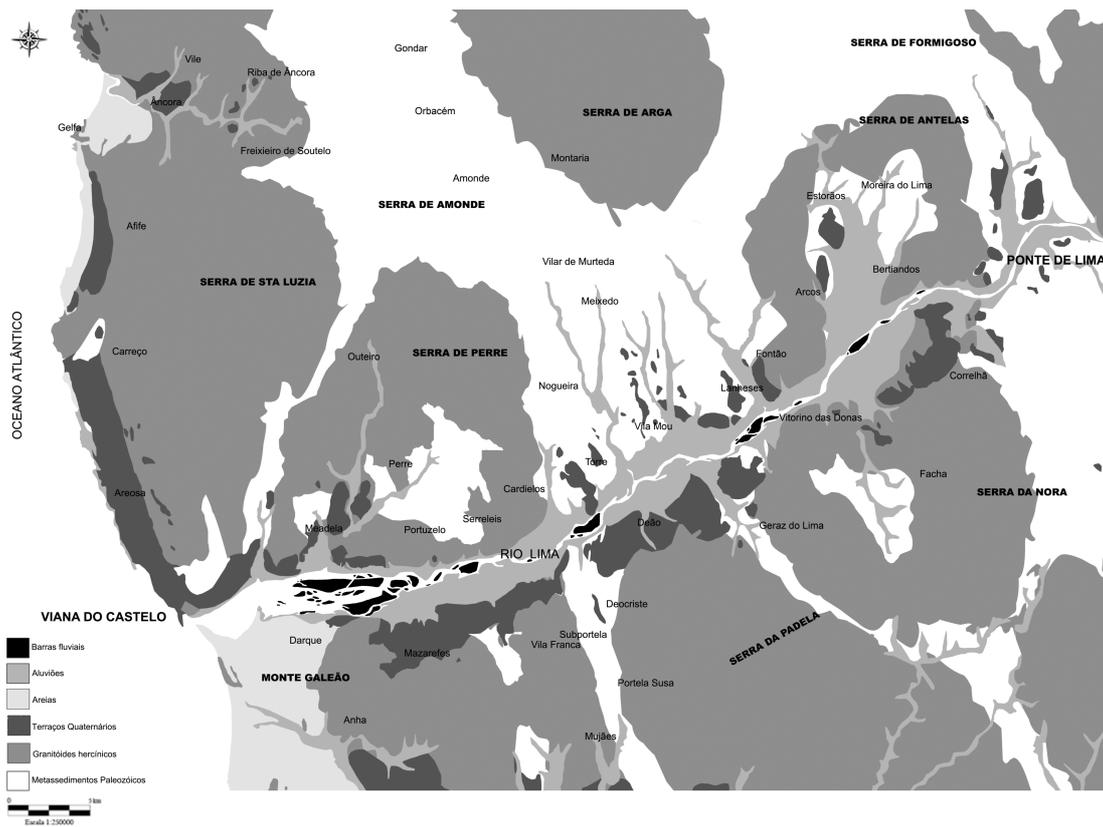


Fig. 18 - Enquadramento dos principais tipos litológicos e de geoformas sedimentares - barras fluviais e terraços - que afloram no concelho de Viana do Castelo.

A sul do Lima afloram os maciços graníticos do Monte de Galeão e da Serra da Padela. Apesar dos relevos atlânticos de Sta Luzia e de Galeão serem atravessados pelo mesmo meridiano e serem igualmente constituídos por rochas granitóides hercínicas, de idade semelhante, o seu comportamento orográfico é fortemente contrastante, nomeadamente no que concerne aos parâmetros que aferem a movimentação geral do relevo (cota máxima alcançada e contraste topográfico); o desenvolvimento da plataforma litoral e a tipologia das arribas dos relevos litorais. No sector em estudo verificam-se diferenças expressivas em todos estes indicadores.

O comportamento das vertentes é também distinto consoante se trate do bloco setentrional ou meridional do Rio Lima. A norte, a arriba ocidental da Serra de Sta Luzia ergue-se abruptamente sobre a curva de nível dos 70 metros, tendo-se aferido declives que ultrapassam por norma os 30% chegando, em casos excepcionais a superar os 60%. A sul da foz do Lima, a arriba aparece como um elemento orográfico interior, definida sobre a isolinha dos 120 metros, com pendor médio variável entre os 5% e os 15%, pontualmente alcançando os 30%, especificamente numa frente de 250 metros no monte Galeão e de pouco mais de 1000 metros na colina de Castelo de Neiva, explicando-se, por isso, o carácter mais penetrante da plataforma litoral, minimizando o efeito de ressalto topográfico que se identifica na margem norte (Fig. 19a).

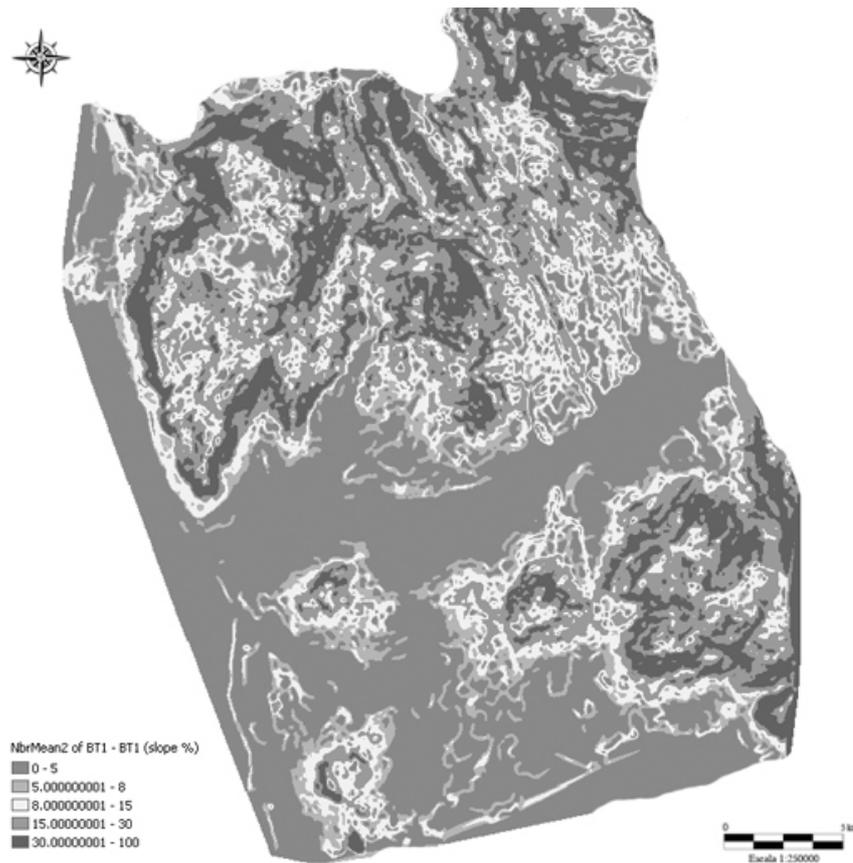


Fig. 19a- MDT de declives do concelho de Viana do Castelo.

No que concerne à movimentação do relevo verifica-se o mesmo efeito contrastante entre os blocos setentrional e meridional: 1) no bloco norte, a cota máxima de 820 metros alcança-se na Serra de Arga, a NW do v.g. de Bretial, comparativamente aos 480 metros atingidos no compartimento sul, na Serra da Padela, a SE do v.g. de Bouça Velha; 2) a média altimétrica determinada para o bloco setentrional é de cerca 195 metros, contrastando com os 93 metros apurados para o bloco sul (figura 19a); 3) o valor de desvio-padrão (δ) determinado sobre as médias altimétricas apuradas para os dois compartimentos, reforçam que a orografia a norte do Rio Lima de comporta de forma menos previsível ($\delta=188$), contrariamente aos valores aferidos para o bloco meridional, onde o relevo se constitui menos agitado ($\delta=109$) (figura 19b).

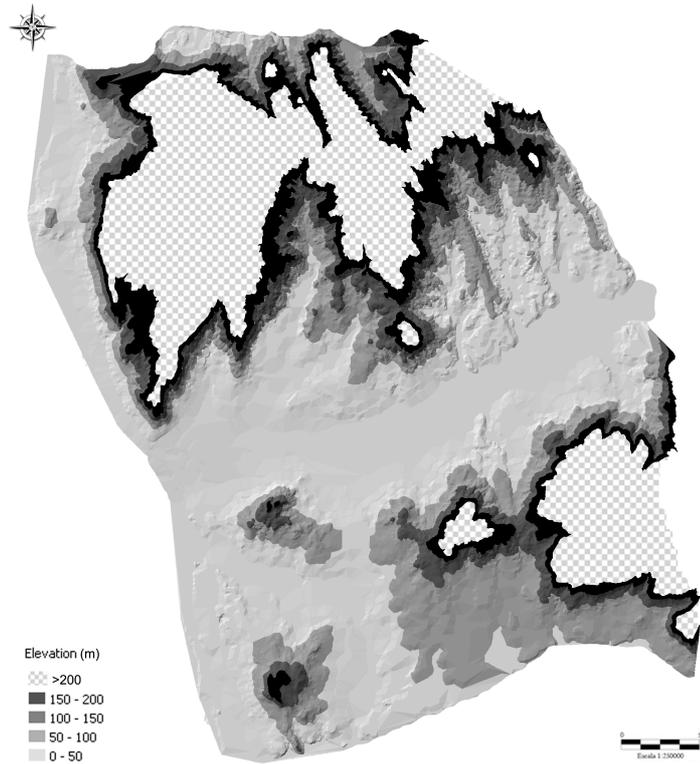


Fig. 19b- MDT altimétrico do concelho de Viana do Castelo.

O relevo do sector vestibular da bacia do Rio Lima mostra boa articulação com a rede de facturação local, definida segundo os principais alinhamentos NE-SW, NW-SE, WSW-ENE e E-W (Fig. 20). Estas discontinuidades constituem sistemas de alinhamentos estruturais que retalham o terreno segundo determinadas direcções, envolvendo-se na génese geométrica de algumas geoformas, como é o caso das vertentes, mas também noutros aspectos do relevo como a delimitação de blocos tectónicos ou a condução diferencial de tramos dos cursos de água.

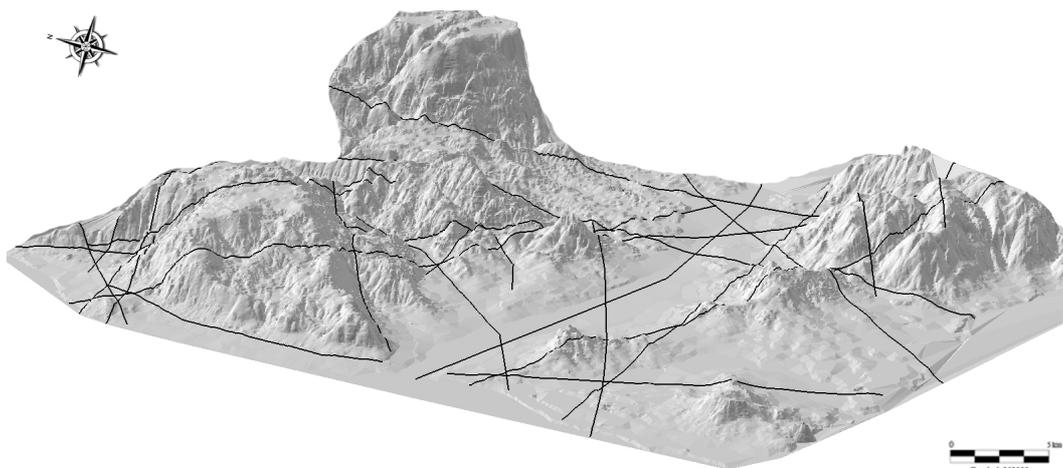


Fig. 20 - Modelo tridimensional da área em estudo, ao qual foi aposto os principais alinhamentos estruturais.

Os aspectos geomorfológicos apresentados, levam-nos a apontar a possibilidade de existência de dois compartimentos ou blocos tectónicos, definidos a norte e a sul do curso do Rio Lima, e que

terão sofrido soerguimento Alpino de diferente amplitude: a norte, o bloco Sta. Luzia-Arga terá sofrido um levantamento mais acentuado que o bloco meridional, Galeão-Padela, que preserva um conjunto mais alargado de geoformas típicas de zonas rebaixadas (Carvalho *et al*, 2009). A orientação geral do curso do Rio Lima, segundo WSW-ENE, parece corresponder a um grande alinhamento estrutural, de idade indeterminada, que aquele sistema sulcou e deu realce geomorfológico, funcionando como o eixo de rejogo vertical dos blocos setentrional e meridional do Lima vestibular, ou segundo Machado (1935), como “braços duma balança”.

A análise morfométrica efectuada em ambiente SIG (ArcGis®), sobre os modelos digitais de terreno (MDT) e de rede irregular triangular (RIT) gerados, sugere a existência de diferenças orográficas, entre sectores adjacentes do terreno, datados de idade aproximada e de composição geoquímica semelhante. Esta constatação aponta para que os dois blocos tectónicos principais - Sta. Luzia/Arga, setentrional e Galeão-Padela, meridional - sejam constituídos por segmentos de terreno que, individualizados por alinhamentos estruturais pré-existentes, tenham sofrido, à semelhança dos grandes blocos, levantamento diferencial durante a presente orogenia Alpina. Relativamente ao bloco Sta. Luzia-Arga, podemos delimitar dois compartimentos ou micro-blocos: o de Sta. Luzia (A) e o da Arga (B). Sobre o bloco sul, Galeão-Padela, definimos três micro-blocos, nomeadamente o de Galeão (C), o da Guilheta (D), Padela menor (E) e o da Padela maior (F) (Fig. 21). O terreno situado entre os micro-blocos de Sta. Luzia e da Arga não foi delimitado como compartimento tectónico, uma vez que, litologicamente é de xisto, constituindo-se como diferente em relação a todos os outros estudados, modelados em granito. Não é possível excluir que as diferenças orográficas identificadas se devam, em parte ou totalmente, ao facto da rocha ser mais sensível à meteorização e à erosão que os maciços graníticos circundantes, pelo que não é possível concluir sobre a actuação do levantamento alpino deste sector.

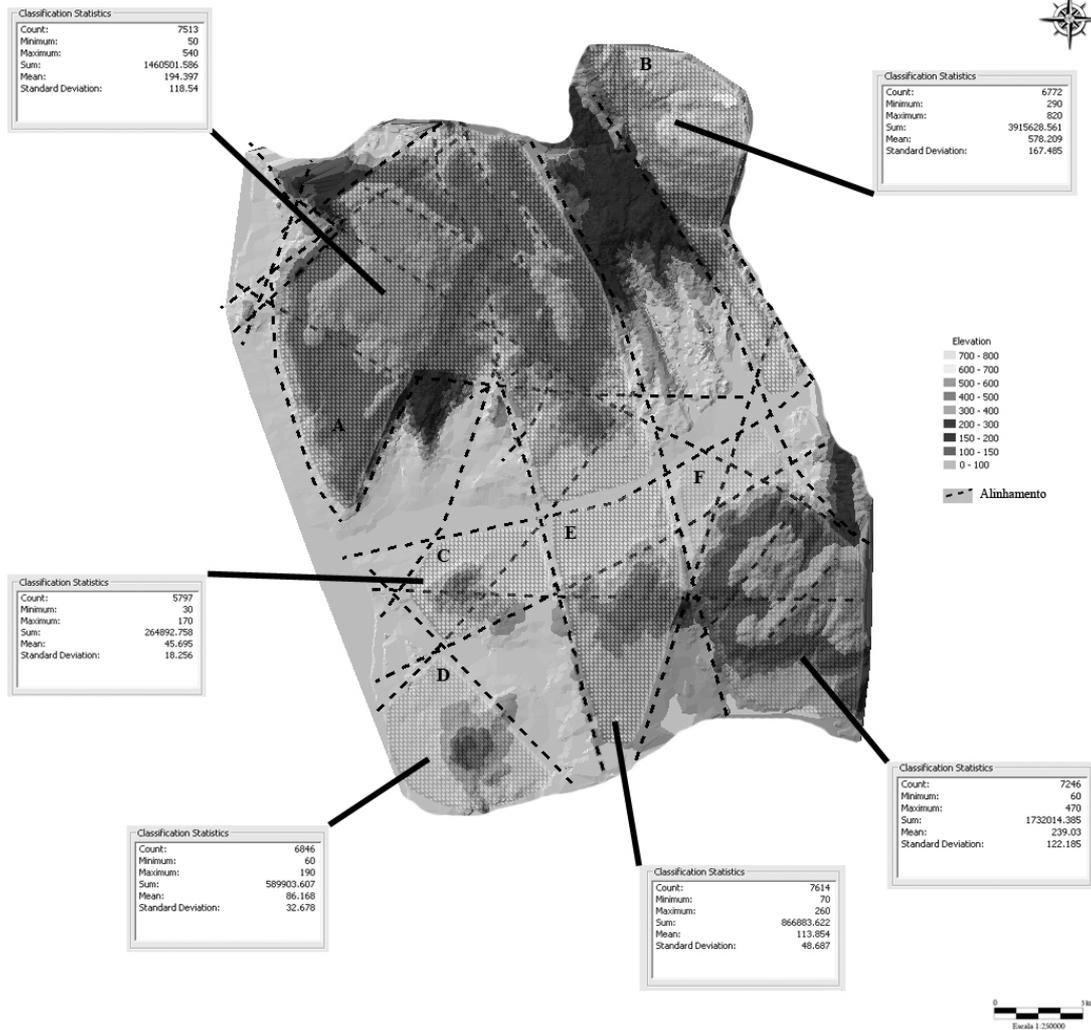


Figura 21 - RIT altimétrico e principais alinhamentos estruturais, com definição dos micro-blocos tectónicos. Indicação das principais características altimétricas de cada micro-bloco.

Os restantes alinhamentos estruturais identificados (Fig. 20), não evidenciam um controlo do relevo à escala regional. O seu valor deve ser tido em conta ao analisar aspectos do modelado de pormenor, como é o caso da geometria de vertentes, controlo estrutural de cursos de água, delimitação de alvéolos de meteorização ou génese de relevos do tipo *horst*.

Conclui-se que o levantamento do relevo foi maior no sector a norte do curso do Rio Lima, relativamente ao bloco sul. Verifica-se ainda que o soerguimento alpino é mais expressivo nos domínios interiores, relativamente aos blocos tectónicos da frente atlântica (Fig. 22).

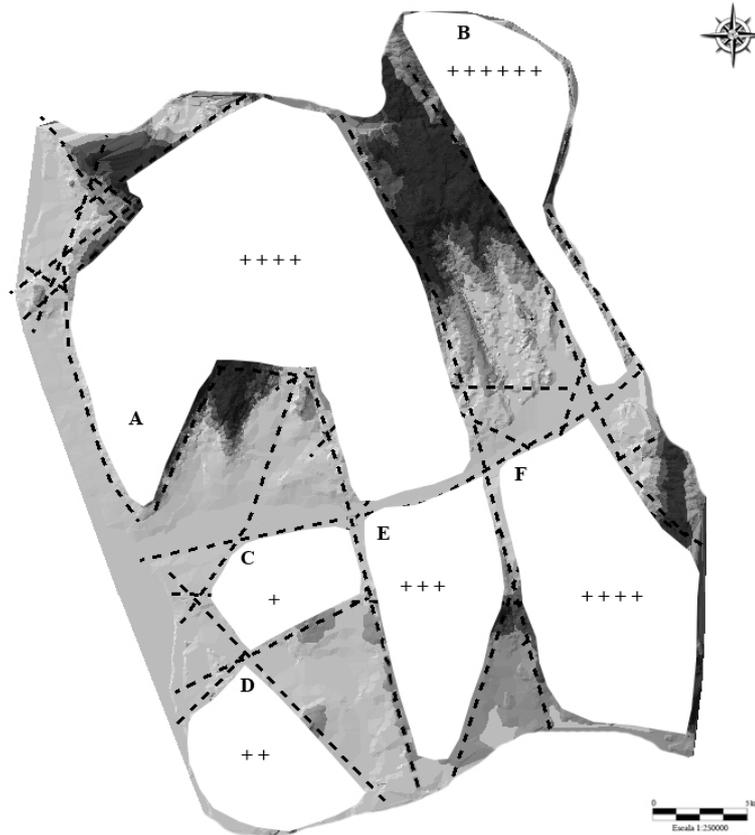


Fig. 22 - Soerguimento relativo dos diferentes micro-blocos que compõe a área em estudo.

Identificaram-se um total de quatro geossítios, de interesse principal geomorfológico, embora de magnitude variada (Quadro 2). Os traços gerais da paisagem geológica são marcados pelas macroformas como, por exemplo, as plataformas conservadas a diferentes altitudes, incluídas ou não no mesmo compartimento tectónico. As geoformas de pormenor, meso e microformas geológicas, dotam a paisagem de aspectos que assumem particular relevância ao nível local. No vale terminal do Lima as geoformas são graníticas e essencialmente residuais, como os *Bornhardt*, os *Tor* e os *Blocos*, resultado da actuação dos processos de meteorização que exploram mais activamente as fraquezas estruturais, muitas delas resultado da herança tectónica regional.

Quadro 2 - Geossítios do sector montanhoso do concelho de Viana do Castelo.

GEOSSÍTIOS	GEOFORMAS	INTERESSES
Estorãos	Topo aplanado da Serra de Arga	Geomorfológico Estrutural
Monte de Roques	Tor na Serra da Padela	Geomorfológico Estrutural
Monte de S. Silvestre	Bornhardt na Serra de Sta. Luzia	Geomorfológico Estrutural
Agros	Bloco granítico em bola na Serra da Padela	Geomorfológico Estrutural

Geoforma M1 - Topo aplanado da Serra de Arga que contrasta com o fundo do vale do Lima, cuja plataforma alcança, neste sector, uma largura de 5 km entre arribas (Fig. 23A). Os xistos que rodeiam o maciço granítico de Arga, criam um relevo de altimetria modesta, segmentado por linhas de água orientadas segundo direcções muito diversificadas. O alinhamento tectónico NW-SE (N160°), Gondar-

Sub-Portela-Fragoso (Casinhas), deverá justificar o desnível entre as superfícies aplanadas de Sta Luzia (549 m) e de Arga (vg. Bretial - 803 m).

Geoforma M2 - *Tor* no Monte de Roques, na Serra da Padela (Fig. 23B). Este relevo residual é definido pelo padrão de fracturação ortogonal subvertical que intercepta o diaclasamento subhorizontal. As direcções subverticais são coincidentes com as apuradas para os *exutórios* associados às *pias* da plataforma culminante de Roques. Relativamente à fracturação subhorizontal, a sua génese não está completamente esclarecida enfatizando-se a importância dos factores estruturais ou salientando-se a importância dos agentes climáticos (Twidale, 1982; Romani & Twidale, 1998), constituindo uma característica local importante, dada a profusão de rochas graníticas que exibem pseudoestratificação. Adicionalmente, encontram-se traços de meteorização química do tipo *tafoni*.

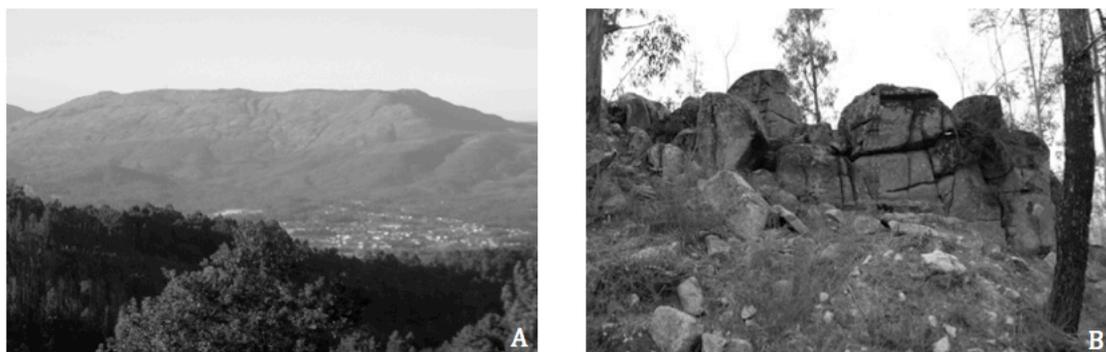


Fig. 23 - (A) Vista sobre a Serra de Arga e o vale, a partir do Monte de Roques (localmente conhecido por Monte Santinho - Serra da Padela); (B) *Tor* na vertente do Monte de Roques. Altura média do afloramento, desde a base da geoforma, 4 metros.

Geoforma M3 - *Inselberg* do tipo *bornhardt* na vertente SE do Monte de S. Silvestre (Serreleis - Serra de Sta. Luzia) (Fig. 24A). Esta geoforma exhibe paredes com inclinação moderada (60°) e contorno elíptico na base (32x18 metros). O eixo mais longo encontra-se alinhado segundo NW-SE ($N130^\circ$), precisamente a direcção predominante entre as restantes famílias de alinhamentos detectados do corpo da estrutura ($N10^\circ$; $N50^\circ$ e $N80^\circ$). O facto das fracturas NW-SE exibirem traços de recristalização (movimentação em falha) e do topo sul do *bornhardt* mostrar esfoliação com a mesma direcção, reforça o comprometimento da tectónica no processo de formação do *bornhardt*, nomeadamente compressão horizontal (Romani & Twidale, 1998), previsivelmente segundo NE-SW. A proximidade do *bornhardt* da vertente do maciço de Sta. Luzia e a existência de geoformas de pormenor no seu topo, como as *pias*, reforça a evolução multietapa destas estruturas (Romani & Twidale, 1998), nomeadamente uma fase inicial, sub-aérea e a derradeira, com a exumação do *bornhardt* por recuo da vertente.

Geoforma M4 - *Bloco granítico em bola* desenvolvido na encosta da Serra da Padela, no lugar de Agros (Fig. 24B). Observam-se, em primeiro plano, relíquias de etapas anteriores de esfoliação daquela geoforma, sendo possível identificar quer a frente activa, quer a amplitude do processo nas fases prévias, ainda preservadas. Na área envolvente está presente um sistema de *pias* bem desenvolvido, principalmente do tipo poltrona. Contrariamente ao que se observa noutros locais, como Montedor ou o Monte de Roques, aqui os *exutórios* são estruturas pouco presentes, apesar da intensa fracturação verificada. Esta constatação põe em evidência as hipótese do desmantelamento da vertente granítica

tenha sido pouco intenso ou que a evacuação dos detritos tenha sido realizada sem recurso à escorrência por canais preferenciais.

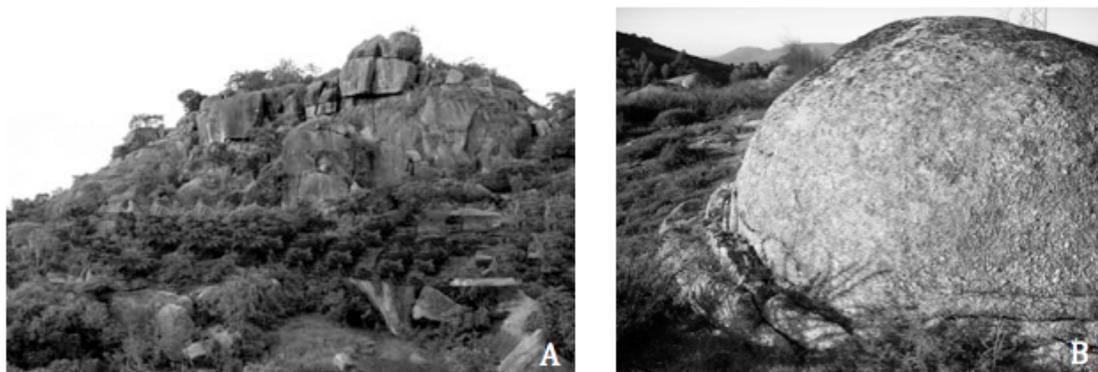


Fig. 24 - (A) *Bornhardt* de Serreleis. Comprimento do eixo fotografado: 32 metros; (B) Esfoliação em bloco granítico (diâmetro na base, 3 metros).

3.3 DOMÍNIO ESTUARINO E PLATAFORMA ALUVIAL

O estuário do rio Lima desenvolve-se até à freguesia de Lanheses, com base em dados do projecto *Limites dos Estuários de Portugal* (INAG, 2001). Neste tramo o perfil longitudinal do Rio Lima apresenta um declive médio de 0,1% e o talvegue cifra uma cota nunca superior a 10 metros, correndo o rio em vale largo. O curso apresenta relativa sinuosidade, com curvas muito extensas e largas junto à foz, assumindo pontualmente direcções distintas, (sub)coincidentes com alinhamentos tectónicos que o cruzam, de que é exemplo a descontinuidade Belinho - Lousados (Calheiros-Ponte de Lima), que obriga o Lima a inflectir para NE (N27°), na freguesia de Fontão e terá o mesmo efeito no Rio Neiva, no troço próximo a Pereira, a poucos quilómetros da foz (Carvalhido *et al.*, 2009).

No troço terminal do Lima, entre a foz e Portuzelo, o rio apresenta um traço distintivo, que se materializa nas barras fluviais longitudinais, localmente conhecidas por *ínsuas*, descrevendo um padrão anastomosado. A barra fluvial mais evoluída - *Ínsua Cavalari* - alcança a extensão de 2 km e possui uma área aproximada de 50 ha. Estas formações, de natureza sedimentar, afloram no Rio Lima em diversas posições, nomeadamente central, mas também lateralmente às margens. No troço a montante, entre Portuzelo e Bertandos (e até Ponte de Lima), o Rio Lima perde o padrão anastomosado, passando a correr em canal mais confinado, limitado a à largura de cerca de 300 metros entre margens, contrariamente à largura superior a 1000 metros com que se caracterizava o canal no tramo inferior. As barras fluviais longitudinais, que também estão presentes neste troço, afloram com características de extensão diferentes em relação às estruturas homólogas do troço vestibular, posicionando-se, a maioria, lateralmente em relação à margem do canal, raramente ultrapassando 200 metros de extensão.

As diferenças apontadas para os dois tramos do curso terminal do Lima - encaixe do sistema fluvial e tipologia das geformas sedimentares aflorantes no curso - constituirão evidências que reforçam a assimetria do fenómeno de levantamento alpino a que também esta região tem estado sujeita, associado ao enquadramento em micro-blocos tectónicos. Propomos, com base nos dados apontados, que o bloco da Padela menor, a sul e o de Sta Luzia, a norte, por terem sofrido levantamento de maior amplitude que o de Galeão, terá originado um encaixe mais intenso do tramo

Portuzelo - Bertandos, comparativamente ao da foz, controlando, em parte, a instalação de geoformas típicas de áreas rebaixadas como as zonas húmidas e as barras fluviais (Fig. 25).

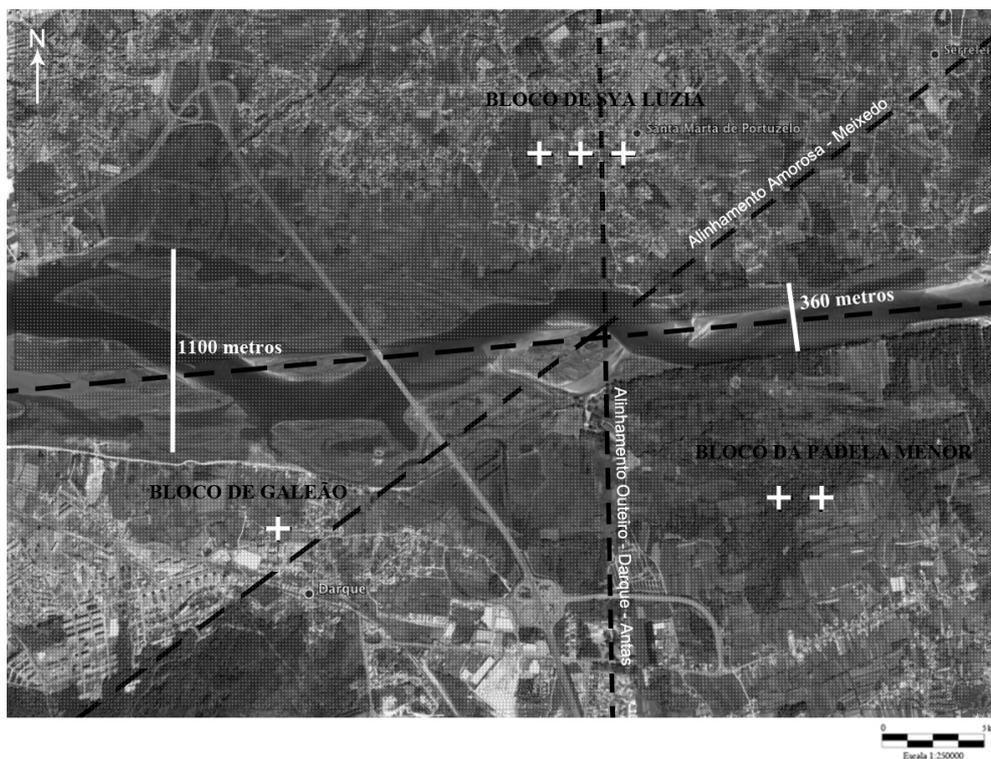


Fig. 25 - Enquadramento tectónico dos micro-blocos de Galeão, Padela Menor e Sta. Luzia.

Relativamente à planície aluvial que surge bem desenvolvida no troço Foz - Arcos de Valdevez, para desaparecer totalmente daí para montante, destaca-se o seu carácter assimétrico, materializado pela presença de zonas húmidas, como a de S. Simão e de S. Pedro, que ocorrem numa margem, sem correspondência na oposta. Os depósitos de terraço que marginam a diferentes altitudes o leito actual do Lima, são também indicadores de um desenvolvimento distinto dos relevos na margem esquerda e direita daquele rio. Relativamente a este último aspecto, de um total de cerca de 18 km² de depósitos de terraço aflorantes, verifica-se que na margem esquerda do Lima, a área parcial de 12 km² se aproxima do dobro da área cartografada na margem norte (6,5 km²), reforçando o carácter menos expressivo do levantamento que o bloco sul (Galeão - Padela) sofreu em relação ao setentrional (Sta Luzia - Arga) (Fig. 26) (Carvalhido *et al.*, 2009).

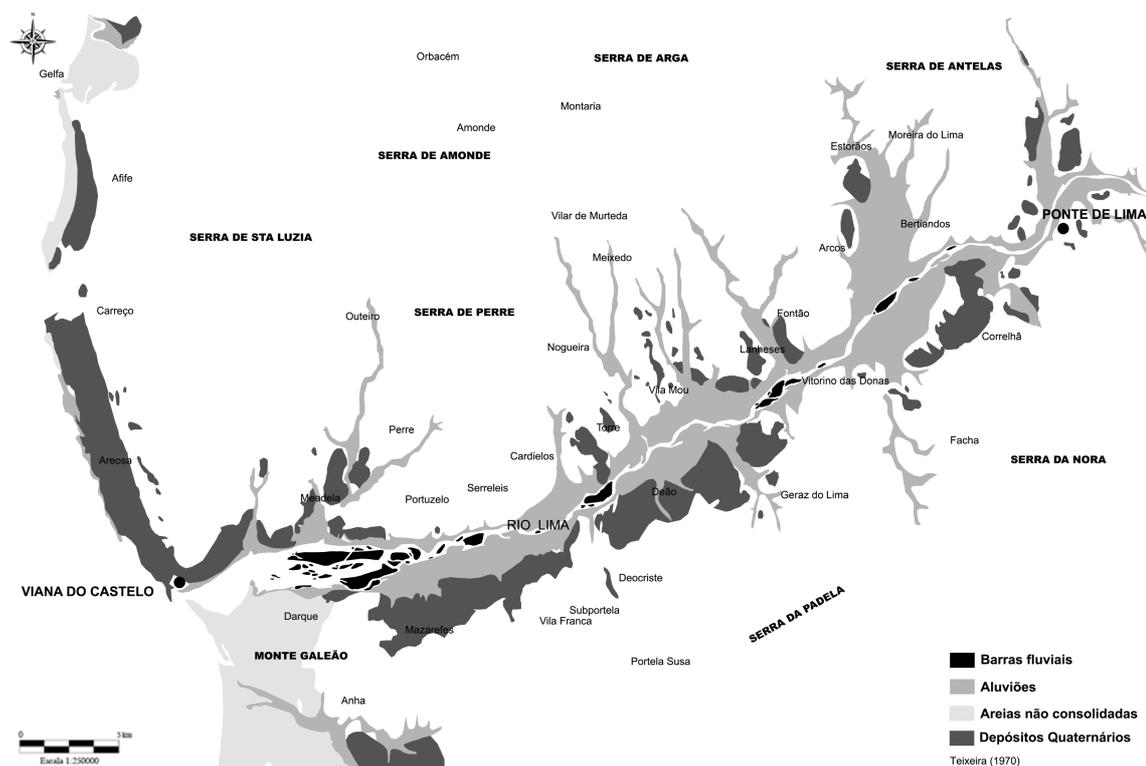


Fig. 26 - Afloramento de geofomas e rochas sedimentares no concelho de Viana do Castelo, tendo por referência Teixeira (1970).

Foram identificados e caracterizados quatro geossítios que melhor preservam e representam a evolução da paisagem geológica, no sector estuarino e na plataforma aluvial do concelho de Viana do Castelo (Quadro 3).

Quadro 3 - Geossítios do sector estuarino e plataforma aluvial do concelho de Viana do Castelo.

GEOSSÍTIOS	GEOFORMAS	INTERESSES
Capela de S. Lourenço	Unidade sedimentar superior do estuário	Estratigráfico Geoquímico
Seca (Darque)	Barras fluviais longitudinais do Rio Lima (ínsuas)	Geomorfológico Estrutural
S. Simão	Alvéolo de meteorização de Mazarefes (S. Simão)	Estratigráfico Sedimentológico
Sto. Ovídio	Alvéolo de meteorização de Bertíandos	Estratigráfico Paleontológico

Geofoma E1 - Afloramento da unidade sedimentar superior do estuário, no sector da Capela de S. Lourenço, que fica a descoberto durante a baixa-mar (Fig. 27A). Esta unidade essencialmente limo-argilosa (24% areia; 46% limo; 30% argila) contém macrorestos vegetais. Sob esta unidade, com cerca de 1 metro de espessura, os sedimentos são tendencialmente mais grosseiros, predominando a fracção arenosa, características semelhantes às referidas por Alves & Alves (1990).

Geofoma E2 - Troço terminal do estuário do Lima (Fig. 27B), onde se observam as *ínsuas* e as plataformas de inundação marginais, de elevada riqueza biológica, como a Veiga de S. Simão. Em

segundo plano observa-se o extenso topo aplanado da Serra de Sta Luzia, que se desenvolve regularmente próximo dos 549 metros (vg. Sta Luzia).



Fig. 27 - (A) Depósito limo-argiloso da Capela de S. Lourenço (área aflorante aproximada - 3500 m²); (B) Tramo terminal do Rio Lima, visto das salinas de Darque. Em último plano, a Serra de Sta Luzia.

Geoforma E3 - Sector terminal do Lima observado a partir da sua margem direita - Salinas (Fig. 28A), sendo possível observar o contraste altimétrico entre a superfície culminante do Monte Galeão, que se desenvolve a 160 m (vg. Faro de Anha) e a plataforma baixa de Mazarefes, que surge paralela ao Lima e parece estar associada à intercepção da fracturação de direcção ENE-WSW do Lima, com o alinhamento Amorosa - S. Simão (Mazarefes) - Arcos (Ponte de Lima). Esta descontinuidade é também aparentemente responsável pela delimitação a SE (N40°) da plataforma da Ola (+50 metros) em relação ao Monte Galeão (Fig. 21).

Geoforma E4 - Alvéolo de meteorização de Bertianos, no sector a poente da Vila de Ponte de Lima, observado, por exemplo a partir do Miradouro de Sto. Ovídio (Fig. 28B). O alvéolo está controlado por alinhamentos tectónicos de direcção NNW-SSE, NE-SW e ENE-WSW (Fig. 29).



Fig. 28 - (A) Vista sobre a porção vestibular do vale do Lima, margem esquerda, desde a zona das Salinas, Meadela; (B) Vista sobre o alvéolo de Bertianos, a partir do miradouro de Sto. Ovídio. Observa-se o curso do Lima e a inflexão em Fontão, segundo o direcção de fracturação NE-SW.

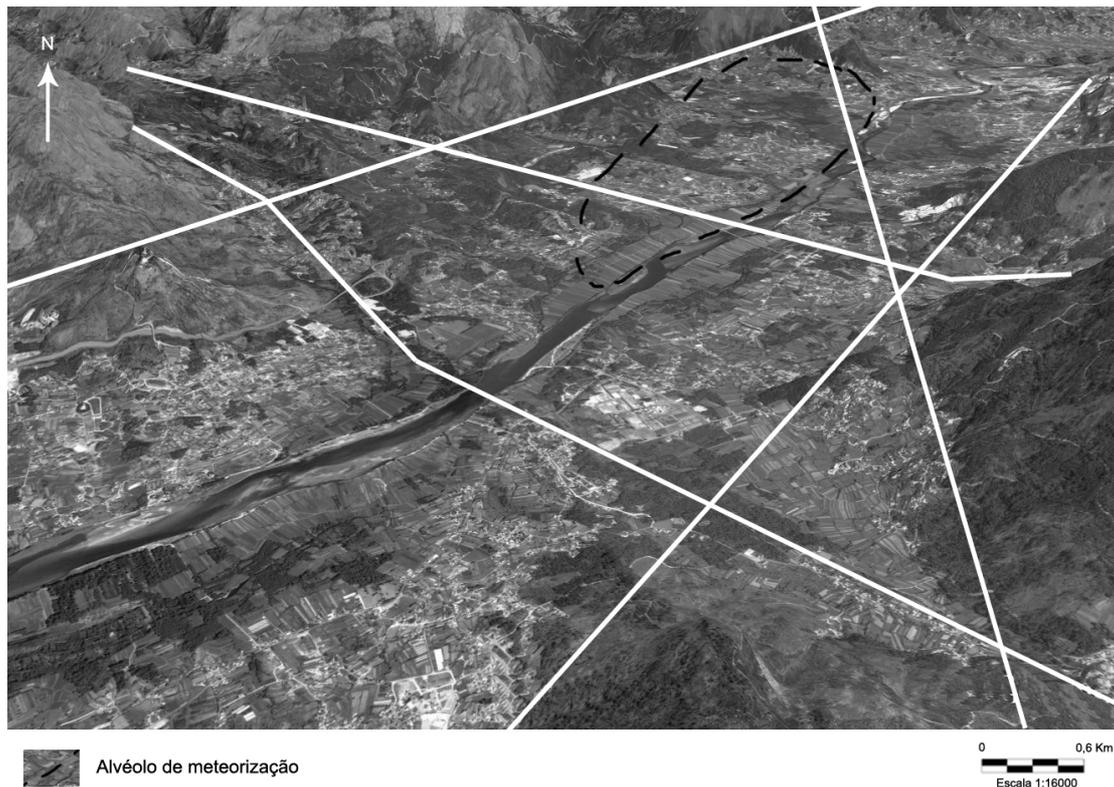


Fig. 29 - Enquadramento estrutural do alvéolo de meteorização de S. Pedro/Bertiandos.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu, até à data, identificar no concelho de Viana do Castelo, vinte e oito geossítios, distribuídos pelas três unidades geomorfológicas definidas: vinte geossítios no domínio costeiro; quatro geossítios no domínio montanhoso e quatro geossítios no domínio estuarino e de plataforma aluvial.

O seu reconhecimento e caracterização contribuiu para o esclarecimento dos traços gerais da paisagem geológica, definidos pela especificidade 1) das vertentes (geometria, declividade, altimetria da base); 2) da rede de drenagem (tipologia, direcção dos tramos, declividade, largura do canal e presença de formações sedimentares); 3) da compartimentação tectónica em macro e micro-blocos diferencialmente afectados pela neotectónica, influenciando o escalonamento do relevo entre as margens do Rio Lima, e entre a frente atlântica e o interior, a génese de plataformas embutidas nas principais arribas e de relevos do tipo *horst* e 4) de geoformas particulares associadas a sistemas de drenagem, como os alvéolos de meteorização. As macroformas identificadas, mostram inequívoca articulação e condicionamento com a rede de facturação local, apurada segundo os principais alinhamentos NE-SW, NW-SE, WSW-ENE e E-W.

Relativamente aos aspectos de pormenor - meso e microformas - embora não relacionados com os traços distintivos da paisagem, permitem clarificar processos e fenómenos geológicos de diferente magnitude, bem como aspectos do modelado de detalhe, constituindo testemunhos: 1) da oscilação e estacionamento do nível do mar, mediante os paleo-indicadores como os alvéolos de ouriço-do-mar; as sapas e as marmitas-de-gigante. As plataformas rochosas costeiras e os depósitos que conservam sedimentos depositados em diferentes paleoambientes, constituem indicadores de maior

magnitude mas cuja interpretação também é essencial no esclarecimento das oscilações eustáticas. Também foram identificadas estruturas antrópicas que pelo seu fim podem dar indicações relativas no nível do mar à data da sua construção e uso - salinas, pavimentos antrópicos e insculturações; 2) da evolução do modelado granítico, nomeadamente os pavimentos (*kluftkarren*, pedunculados e ondulados - em rampa ou horizontais), os *Tor*, os *Bornhardt*, os blocos em bola, as formas em A (*A-tent*), o diaclasamento e a esfoliação; e 3) dos processos de evolução de vertentes, enfatizando-se as geoformas associadas ao processo de desmantelamento por recuo (meteorização sub-aérea e superficial, evacuação por escoamento difuso ou ordenado associado a alinhamentos estruturais, resultando na abundância diferencial de pias, exutórios e caneluras; a formação de depósitos de sopé - *piedmont*).

Estes geossítios expressam a interacção entre os agentes geodinâmicos externos e o substrato rochoso. Os alinhamentos estruturais aparecem, sem excepção, associados às geoformas identificadas e apresentam-se coincidentes com as direcções dos grandes alinhamentos estruturais apurados ao nível regional. Constituem fraquezas estruturais, muitas delas resultado da herança tectónica regional e são responsáveis pela geração de corredores que os processos de meteorização exploram de forma mais activa, constituindo um importante factor na génese das geoformas de menor escala.

Os geossítios identificados e sucintamente caracterizados neste trabalho contém geoformas de diferente magnitude, desde micro a macroformas, possuindo principalmente valor geomorfológico, mas também tectónico, geoquímico, sedimentológico, estratigráfico e geocultural. Todos os locais e áreas apontadas estão dotados de interesse científico e a maioria apresenta potencial de valorização nos domínios didáctico e turístico. Apesar da maioria das geoformas não se apresentar ameaçada a curto-prazo, de dano ou destruição, algumas requerem rápidas e importantes medidas de conservação devido à sua vulnerabilidade. Assim, é importante proceder à sua protecção legal, nomeadamente no capítulo do resguardo da sua identidade físico-química e estrutural, limitando determinadas actividades humanas que possam colocar em causa, no futuro, a sua integridade.

Recomenda-se ao município de Viana do Castelo o reconhecimento da importância do processo de inventariação do património geológico, de que são exemplo as geoformas apresentadas neste trabalho. A sua classificação ao abrigo do Decreto-Lei n.º 142/2008 de 24 de Julho permitirá salvaguardar a conservação desta componente do património, fundamental para a compreensão da evolução geológica do concelho de Viana do Castelo.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado no âmbito da bolsa de doutoramento (SFRH /BD/16438/2004) e do projecto de investigação “Identificação, caracterização e conservação do património geológico: uma estratégia de geoconservação para Portugal” (PTDC/CTE-GEX/64966/2006), ambos financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

A Câmara Municipal de Viana do Castelo cedeu os ficheiros altimétricos 1:10k e os ortofotomapas.

5. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, C. B., 2008. Sítios que fazem história. Arqueologia do concelho de Viana do Castelo, Vol I: Da pré-história à Romanização. Câmara Municipal de Viana do Castelo, Viana do Castelo.

ALVES, M.; 1995. Materiais Plio-Quaternários do Alto Minho. Produtos de meteorização e depósitos fluviais na bacia do rio Lima e região de Alvarães. Tese de doutoramento, Dep. Ciências da Terra, Universidade do Minho, Braga, 277 p.

ALVES, A.; 1996. Causas e processos da dinâmica sedimentar na evolução actual do litoral do Alto Minho. Tese de doutoramento, Dep. Ciências da Terra, Universidade do Minho, Braga, 438 p.

ALVES, C.M.I & ALVES, C.M.A., 1990. Os sapais do rio Lima (caracterização mineralógica-textural dos sedimentos. Actas del II Reunion del Cuaternario Ibérico. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, v.I, pp.181-189.

BRILHA J., 2005. Património Geológico e Geoconservação: a Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica. Palimage Editores, Viseu, ISBN: 972-8575-90-4, 190p.

CARVALHIDO, R.; PEREIRA, D.; BRILHA, J., 2009. Inventariação do património geomorfológico do litoral do concelho de Viana do Castelo. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, nº VI (em publicação).

CUFFEY, K.; MARSHALL, S., 2000. Substantial contribution to sea-level rise during the last interglacial from the Greenland ice sheet. Nature, Volume 404, Issue 6778, pp. 591-594.

GARCÍA-AMORENA, I.; MANZANEQUE, F.; RUBIALES, J.; GRANJA, H.; CARVALHO, G.; MORLA, C., 2007. The late Quaternary costal forests of western Iberia: A study of their macroremains. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 254, p. 448-461. Elsevier.

GARRIDO, F., 2003. Estudo Geoambiental da Faixa Litoral Norte do Concelho de Viana do Castelo. Tese de mestrado, Dep. Ciências da Terra, Universidade do Minho, Braga, 123 p.

HENRIQUES, R., 2003. SEDMAC/SEDPC: programa informático de apoio à análise dimensional de populações detríticas. Ciências da Terra, Volume Especial, VI Congresso Nacional de Geologia, Faculdade e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, p40.

INAG, 2001. Limites dos Estuários de Portugal. [Consult. 20-09-2008]. Disponível em WWW: <<http://www.maretec.mohid.com/>>.

LIMA, F., 2008. Proposta Metodológica para a Inventariação do Património Geológico Brasileiro. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Braga.

MACHADO, F., 1935. O teclado minhoto. Alto Minho, 1, Sep., Tipografia Gutenberg, Viana do Castelo.

MEIRELES, J., 1991. As indústrias líticas pré-históricas do litoral minhoto (Portugal) no seu contexto cronoestratigráfico e paleoambiental. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga.

PAMPLONA, J; 2001. Tectónica do antifórma de Viana do Castelo-Caminha (ZCI): regime de deformação e instalação de granitóides. Tese de doutoramento, Dep. Ciências da Terra, Universidade do Minho, Braga.

POWERS, M., 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. Journal of Sedimentary Research; June 1953; v. 23; no. 2; p. 117-119.

RIBEIRO, I.; 2001. Deformação neotectónica pós-pleistocénica na zona costeira entre os rios Minho e Ave. Tese de doutoramento, Dep. Ciências da Terra, Universidade do Minho, Braga.

ROMANÍ, J. & TWIDALE, C., 1998. Formas y paisajes graníticos. Universidade da Coruña, Coruña, 411 p.

SHEPARD, F., 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. Journal of Sedimentary Petrology, Tulsa, Okla. 24 (3): 151-158p.

TEIXEIRA, C.; MEDEIROS, A.; COELHO, A., 1970. Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50000, folha 5A. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa.

TWIDALE, C., 1982. Granite Landforms. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 372 p.

3.2. Vestígios glaciários no Parque Nacional da Peneda-Gerês

Paulo Pereira

Itinerário

Braga – Ruivães – Cabril – Vale de Compadre – Fafião – Vila do Gerês – Portela do Homem – Braga

Dados práticos

Durante a excursão serão visitados dois sectores da Serra do Gerês onde ocorrem vestígios glaciários. A primeira parte da excursão será dedicada à subida ao vale de Compadre, na parte oriental da serra, através de um percurso pedestre de média/elevada dificuldade, com cerca de 6 km em trilho pouco percorrido. Chama-se a atenção dos participantes para a dificuldade desta actividade, devendo levar água, vestuário e calçado adequado a um trilho de montanha (botas de montanha, chapéu, protector solar). A segunda parte da excursão decorrerá no sector ocidental da Serra do Gerês, nomeadamente no alto vale do rio Homem, onde será efectuado um pequeno percurso pedestre, de menor dificuldade.

Programa

- 09:00 h.** Início da excursão – junto à portaria principal da UM
(pede-se aos participantes que cheguem 15 minutos antes, para a distribuição do almoço volante)
- 10:30 h.** 1. Compadre
Percurso pedestre (1 hora e 45 minutos)
Observação e discussão de geoformas e depósitos glaciários
Almoço volante
- 15:00 h.** Chegada ao autocarro
- 16:30 h.** 2. Vale do Homem
Percurso pedestre (30 minutos)
Observação e discussão de geoformas e depósitos glaciários
- 17:45 h.** Saída para Braga
- 19:00 h.** Fim da excursão, junto à portaria principal da UM

1. Parque Nacional da Peneda-Gerês

O Parque Nacional da Peneda-Gerês (PNPG) localiza-se no Noroeste de Portugal, ocupando uma área de 69592 ha, correspondente a 0,78% da área de Portugal Continental, distribuída pelos concelhos de Melgaço, Arcos de Valdevez, Ponte da Barca, Terras de Bouro e Montalegre (Fig. 1). Foi criado em 1971, através do Decreto-Lei n.º 18/71, de 8 de Maio, tornando-se então a primeira área protegida classificada em Portugal, e mantém actualmente o estatuto de único Parque Nacional.

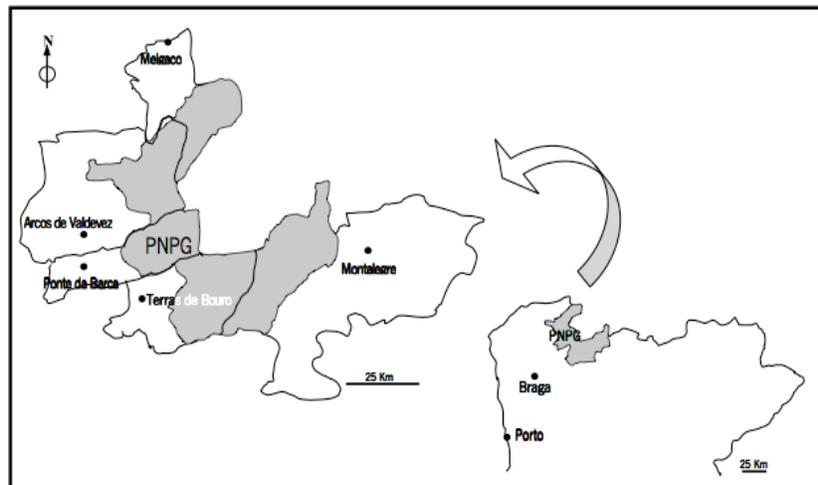


Figura 1. Localização do PNPG no Noroeste de Portugal (adaptado de Peixoto, 2008).

Em termos geomorfológicos, a área do PNPG enquadra-se no prolongamento para Sudoeste da cadeia montanhosa Galaico-Leonesa e engloba três serras principais: Peneda (1415 metros de altitude), Amarela (1359 metros) e Gerês (1548 metros). Estas serras são caracterizadas por um relevo vigoroso, possuindo vales muito profundos e vertentes abruptas com várias centenas de metros de comando, com pequenos níveis de aplanamento a variar entre os 1400 e os 500 metros de altitude.

As serras do PNPG estão estruturadas essencialmente em granitóides de várias gerações, origens, composições e modos de instalação, relacionados com a 3ª fase da orogenia hercínica. Estes apresentam texturas e composições mineralógicas muito distintas, mediante as suas idades e origens. Os granitóides sin-tectónicos afloram na Serra Amarela, no sector Sudoeste da Serra da Peneda (Soajo) e ainda nas regiões a Norte e a Nordeste de Castro Laboreiro e em Tourém (Leste da Serra do Gerês); os granitos tardi-tectónicos, que afloram apenas na Serra Amarela, apresentam alguma deformação, sobretudo orientação dos filossilicatos, demonstrando terem-se instalado já no final da última fase de deformação hercínica (Moreira & Ribeiro, 1991); os

granitos pós-tectónicos, de idades compreendidas entre os 296 Ma e os 290 Ma, formaram-se devido às tensões ocorrentes no final da orogenia hercínica, ocupando a maior parte da área do PNPG (granito de Carris, Borrageiro e Tieiras, granito de Paufito e granito do Gerês, sendo o granito do Gerês o predominante).

Uma das características geomorfológicas principais associadas à ocorrência do granito do Gerês é a existência de geoformas de grande dimensão que constituem um dos principais elementos da paisagem no PNPG. Estes relevos residuais com algumas dezenas de metros de altura, designados localmente por “medas” e “borageiros”, ocorrem nos sectores mais elevados das Serras da Peneda e do Gerês (Fig. 2). De acordo com Ferreira et al. (1999) as medas são cúpulas ou domos rochosos (“Bornhardt” na terminologia geomorfológica anglo-saxónica) enquanto que os borageiros são formas acasteladas (“Castle kopje”) associadas a um maior desenvolvimento de diaclases ortogonais.

Para além da variedade das fácies graníticas e das geoformas associadas, a geodiversidade no PNPG é expressa pela ocorrência de metassedimentos silúricos, corpos filonianos, mineralizações e vestígios da actividade extractiva (por exemplo, estanho, volfrâmio, molibdénio e ouro) e outros aspectos como a tectónica recente, a hidrogeologia e os vestígios glaciários, os quais se constituem como um dos temas de maior interesse científico na área do PNPG. É também com base nesta geodiversidade que o PNPG adquire um valor científico e didáctico reconhecido. Para além dos trabalhos dedicados à cartografia geológica (Moreira & Ribeiro, 1991), este valor está expresso por um número significativo de trabalhos dedicados à inventariação, caracterização e divulgação de geossítios.

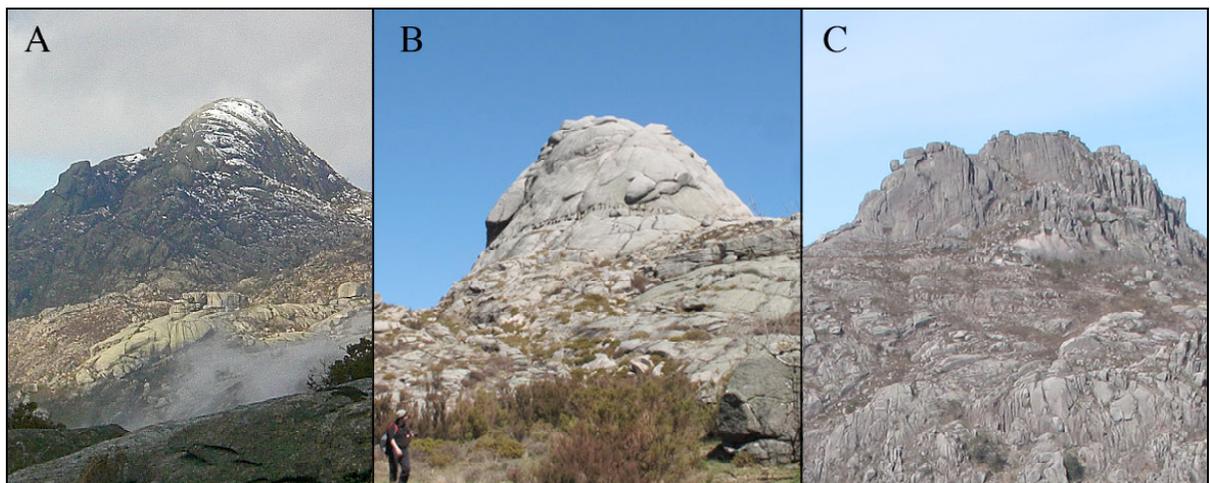


Figura 2. Macro-geoformas típicas (medas e borageiros) do modelado granítico no PNPG: A - meda da Penameda (Serra da Peneda); B - meda da Rocalva (serra do Gerês); C - borageiro do Pé de Cabril (Serra do Gerês).

2. Conhecimento sobre as glaciações quaternárias no NW de Portugal

Durante o Quaternário, as temperaturas atmosféricas têm variado em ciclos de dezenas de milhares de anos, alternando períodos frios com períodos mais quentes. Nos períodos mais frios a cobertura de gelo das regiões polares desceu para latitudes mais baixas e as montanhas mais altas foram cobertas por glaciares. O último desses períodos mais frios terá ocorrido há 18000 anos, no contexto da glaciação Würm e os seus testemunhos são ainda bem evidentes nalgumas serras portuguesas.

Na medida em que o aumento de altitude nas montanhas implica a diminuição de temperatura e o aumento da precipitação de neve, existe um nível altimétrico a partir do qual se acumula mais neve do que a que funde. É o limite das neves perpétuas (Fig. 3), acima do qual existe uma cobertura de gelo mais ou menos contínua, em forma de glaciares. No NW da Península Ibérica, em várias serras se encontram vestígios geomorfológicos e sedimentológicos que testemunham uma dinâmica glaciária e periglaciária recente (Fig. 3). Em Portugal, é nas serras do Gerês e da Estrela onde se observam vestígios claros desses episódios. Contudo, devido a condições locais favoráveis, estas manifestações ocorreram também em sectores da Serra da Peneda, da Serra Amarela e da Serra da Cabreira.

No noroeste de Portugal, os vestígios das glaciações têm interessado a naturalistas desde os finais do século XIX. O geólogo Paul Choffat (1895) referiu-se à possibilidade de uma glaciação quaternária na Serra do Gerês, ainda que sem apresentar indícios e provas concretas. Os vestígios da glaciação na Serra do Gerês foram desde então procurados e admitidos como possíveis por alguns investigadores (Fleury, 1916; Ribeiro, 1955), mas foi A. de Amorim Girão (1958) que os assinalou pela primeira vez, nomeadamente blocos erráticos, rochas aborregadas, moreias e sobretudo os lagos de origem glaciária (Carvalho & Nunes, 1981). Somente no decorrer da década de 1970 surgiram estudos mais aprofundados dos vestígios glaciários na Serra do Gerês nos quais se identificam formas e depósitos tipicamente glaciários, como rochas estriadas, blocos erráticos, moreias, depósitos fluvio-glaciários ou circos glaciários (Coudé-Gaussen, 1978; Schmidt-Thomé, 1978).

Contudo, os resultados destes estudos não foram então unanimemente aceites pela comunidade científica, havendo autores a defenderem a não existência de uma glaciação plistocénica no noroeste português, considerando que as formas e depósitos aí identificados teriam uma origem torrencial (Teixeira & Cardoso, 1979). Já anteriormente, a possibilidade de uma glaciação quaternária nas montanhas minhotas fora renunciada por Hermann Lautensach (1932), aquando do estudo dessas manifestações na Serra da Estrela. Os vestígios glaciários na

Serra da Peneda foram referidos pela primeira vez também durante a década de 1970 (Daveau, 1977) e discutidos principalmente no decurso da década seguinte (Coudé-Gausson, 1978, 1979, 1981; Moreira & Ramos, 1981; Carvalho & Nunes, 1981; Coudé et al., 1983; Daveau, 1986).

Estudos mais recentes estabeleceram um consenso quanto à evidência desses vestígios nas Serras da Peneda e do Gerês (Vidal Romani et al., 1990; Ferreira, 1993; Ferreira et al., 1992, 1999). As geoformas e depósitos glaciários foram confirmados e cartografados, estabelecendo-se que a glaciação minhota terá sido essencialmente do tipo circo e vale, com línguas glaciárias que não ultrapassariam os 150 metros de espessura. A morfologia demonstra a pouca eficácia dos glaciares, os quais mobilizaram mantos de alteração pré-glaciária, tendo ocorrido condicionamento estrutural (na orientação dos vales glaciários) e climático (na maior acumulação das neves nas vertentes abrigadas, quer da insolação, quer dos ventos dominantes de oeste) da glaciação (Ferreira et al., 1992, 1999).

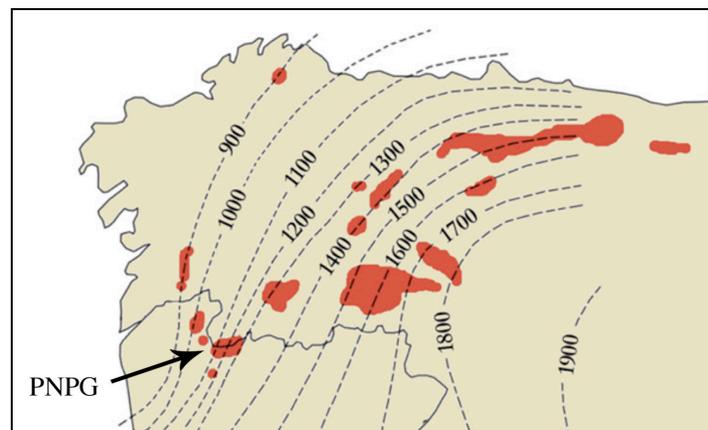


Figura 3. Altitude nas neves perpétuas no máximo da glaciação quaternária, no Noroeste da Península Ibérica.

3. Geoformas e depósitos glaciários

A identificação das áreas onde terão ocorrido processos glaciários nas serras do PNPG é suportada pela comparação entre áreas onde o modelado de alteração (tors e caos de blocos) é predominante e áreas de rocha nua, onde a dinâmica glaciária removeu os rególitos. Nestes sectores, é possível observar-se macro-geoformas de erosão como vales e circos glaciários (Fig. 4), polimentos e estrias no substrato e nos blocos mobilizados pelos glaciares e geoformas de acumulação (Fig. 5). Por outro lado, de acordo com Ferreira et al. (1999), as geoformas glaciárias típicas são em número reduzido e, por vezes, de difícil interpretação, pelo que os melhores indicadores da glaciação são os depósitos glaciários (till) que se podem observar em afloramento (Fig. 6). Através da identificação de geoformas e depósitos nas mesmas áreas obtiveram-se

conclusões mais seguras quanto à ocorrência de glaciação (Ferreira et al., 1999).

Na área do PNPG é na Serra do Gerês onde ocorre o maior número de vestígios glaciários. O planalto do Couce, na parte central da serra, é o sector onde esses vestígios são mais evidentes, principalmente pela diversidade de geoformas glaciárias de erosão e de acumulação. O circo de Cocões de Coucelinho (Fig. 4-A) é uma das geoformas glaciárias mais típicas, mas no mesmo sector observam-se também pequenas depressões glaciárias (dos quais se destaca a Lagoa do Marinho) e principalmente um vasto conjunto de moreias (Fig. 5-A) de diversos tipos (laterais e frontais) e a diversas altitudes, que permitem estabelecer os cerca de 150 metros de espessura dos gelos no máximo glaciário. Os outros dois sectores com mais evidências glaciárias na Serra do Gerês são o alto vale do Rio Homem e o vale de Compadre, locais a visitar no âmbito desta excursão (Ponto 4).

A elevada extensão da serra e principalmente a sua configuração geomorfológica, com picos acima dos 1400 metros de altitude lado a lado com vales profundos abrigados da insolação e da circulação atmosférica dominante, são factores essenciais para a ocorrência de vestígios glaciários noutros sectores da serra. Destes destacam-se o vale da Ribeira das Negras, a vertente galega (norte) da serra e o alto vale do Rio Fafião. No vale da Ribeira das Negras, a leste dos topos mais altos da serra, pode observar-se um dos circos glaciários mais típicos, embora neste vale tenha particular importância a ocorrência de diversos tipos de depósitos glaciários (till subglaciário e supraglaciário). Na vertente galega os principais vestígios ocorrem na parte superior do vale do Rio Vilameá, nomeadamente a forma em “U” do vale, rochas estriadas, moreias laterais e till subglaciário. No alto vale do rio Fafião observa-se um importante conjunto de depósitos glaciários (till subglaciário e supraglaciário) ainda que aí as geoformas glaciárias sejam de reduzida importância. No sector ocidental da serra (Prados da Messe-Rocalva) os vestígios glaciários estão muito localizados, destacando-se ainda assim o vale glaciário das Fichinhas (Fig. 4-B), com forma em “U”, e a moreia frontal do Curral da Rocalva.

Na Serra Amarela os vestígios glaciários inequívocos são de reduzida expressão, estando confinados às cabeceiras do rio Cabril, na vertente oriental da serra, nomeadamente a ocorrência de duas moreias laterais: a moreia do Ramisquedo ocorre entre os 1165 e os 1130 metros de altitude e a moreia do Torrão do Fial, paralelamente a essa, entre os 1125 e os 1080 metros (Ferreira et al., 1999).

Quanto à Serra da Peneda, é no seu sector ocidental que ocorrem os principais vestígios glaciários. No vale do Alto Vez ocorre uma morfologia com circos glaciários, terraços de

obturação e moreias laterais. A língua glaciária do Alto Vez teria uma espessura de cerca de 100 metros junto à capela da Sra. da Guia e desceria até aos 730 metros de altitude. Nesse sector (Brandas de Sra. da Guia e de Sto. António) ocorrem os mais importantes vestígios da glaciação na Serra da Peneda, nomeadamente grandes blocos de granito alcandorados sobre o vale e assentes em xistos (blocos erráticos, Fig. 5-B), os quais permitem a delimitação inequívoca do episódio local de glaciação. Curiosamente, os blocos erráticos do Alto Vez situam-se ligeiramente fora dos limites da área do PNPG, mas são incluídos nesta análise uma vez que fazem parte de um conjunto maior de vestígios glaciários inseridos no vale do rio Vez e localizados dentro da área do parque.

Na vertente ocidental do vale da Gavieira, sobranceira às aldeias de Gavieira e Rouças identificaram-se igualmente vários circos glaciários e conjuntos morénicos dispersos e caóticos, havendo no entanto maior dificuldade em estabelecer os limites das línguas glaciárias neste sector (Coudé et al. 1983). Como referem Ferreira (1993) e Ferreira et al. (1999), os trabalhos realizados na Serra da Peneda assinalaram evidências da glaciação mas são necessários estudos mais pormenorizados, de campo, nomeadamente pesquisa de till, no sentido de melhor suportar a delimitação da glaciação nesta serra. Nesse sentido, foi efectuado o estudo micromorfológico de depósitos glaciários (till subglaciário) recentemente descobertos nas proximidades das brandas de Junqueira e de Gorbelas (Fig. 6-B), cujos resultados apontam para uma elevada espessura dos gelos nesse sector, suportando a importância da glaciação no vale da Gavieira (Pereira et al., 2009).

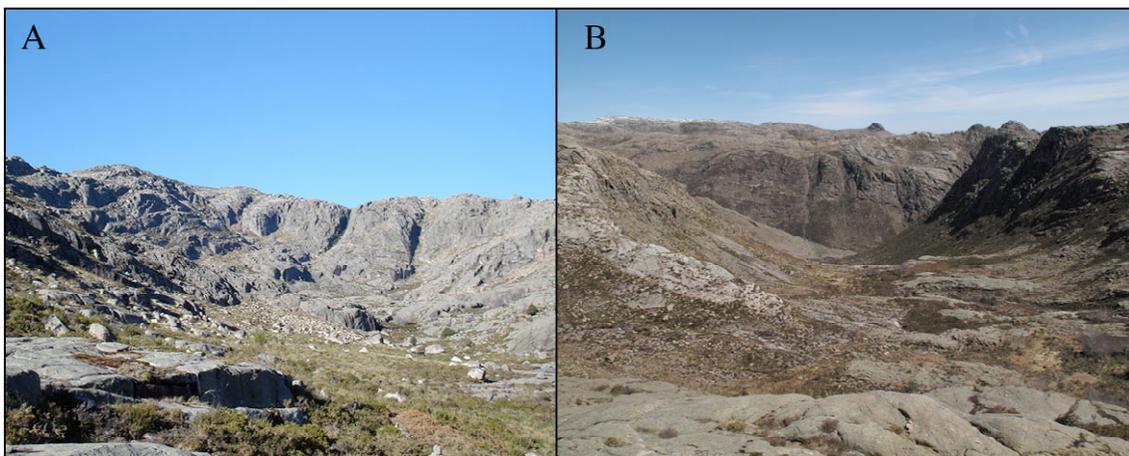


Figura 4. Exemplos de geofomas de erosão glaciária: A - circo glaciário de Cocões de Coucelinho (Serra do Gerês); B - vale glaciário de Fichinhas (Serra do Gerês).

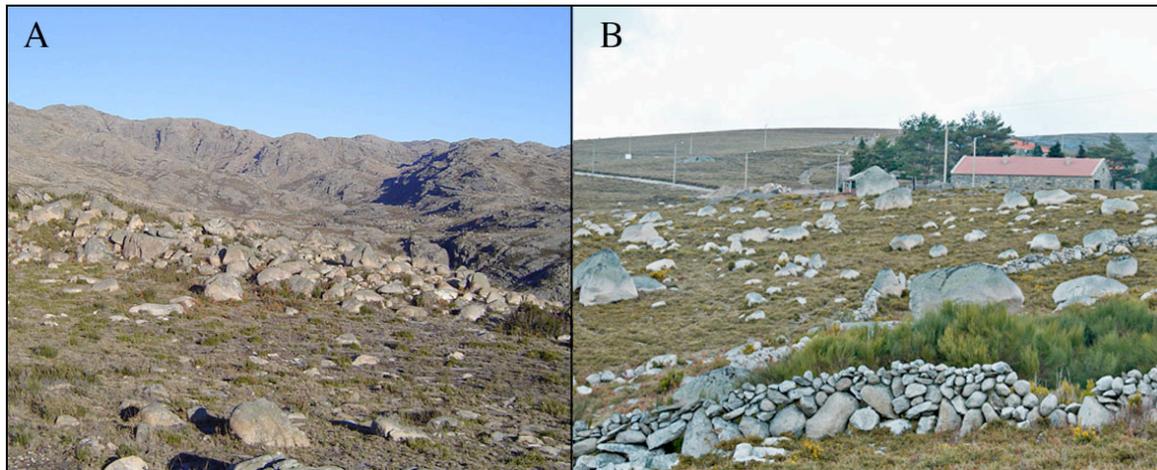


Figura 5- Exemplos de geofomas de acumulação glaciária: A - moreia no planalto do Couce (Serra do Gerês); B - blocos morénicos (erráticos) do Alto Vez (Serra da Peneda).



Figura 6 - Exemplos de *till* subglaciário: A - *till* da ponte do Rio Homem (Serra do Gerês); B - *till* da branda de Junqueira (Serra da Peneda).

4. Locais a visitar

1. *Compadre (Serra do Gerês)* - Na parte oriental da serra do Gerês (vale de Compadre) ocorrem dos vestígios glaciários mais evidentes nas montanhas do Minho, nomeadamente um vasto campo de moreias, algumas das quais bem alinhadas e individualizadas, como é o caso da moreia de Compadre (Fig. 7). No entanto, nalguns sectores do vale esses vestígios não são tão evidentes e apenas a descoberta de afloramentos de *till* subglaciário no vale da ribeira da Biduiça e na vertente ocidental dos Cornos de Candela e Alto de Bezerral permitiu identificar outras moreias e definir os cerca de 150 metros de espessura dos gelos, no máximo glaciário (Ferreira *et al.*, 1999). Ao longo de vários pontos serão observados diversos vestígios glaciários, com especial destaque para a dimensão e configuração das moreias presentes no vale, discutindo-se igualmente a dinâmica local da glaciação e a associação com outros aspectos geomorfológicos.



Figura 7 - Moreias no vale de Compadre (Serra do Gerês)

2. *Vale do Homem (Serra do Gerês)* - Sendo um dos locais fundamentais na problemática da glaciação da Serra do Gerês, é no alto vale do rio Homem (com orientação predominante E-W) que se encontram alguns dos principais vestígios glaciários do PNPG. O vale apresenta nalguns sectores um perfil transversal em “U” (Fig. 8-A) e um perfil longitudinal em escadaria, com ressaltos onde se desenvolveram pequenas cascatas. A identificação de *till* subglaciário a uma altitude de 725 metros (Fig. 6-A) permitiu confirmar a ocorrência de uma língua glaciária até pelo menos esse local (Ferreira *et al.*, 1999). Outros afloramentos de *till* subglaciário existem em sectores mais a montante, mas o vale caracteriza-se fundamentalmente por acumulações grosseiras de fundo de vale, de origem fluvioglaciária (Fig. 8-B). Neste local serão observados e discutidos os vestígios glaciários principais do Vale do Homem, com especial destaque para o aspecto e textura do *till* subglaciário da ponte do Rio Homem e para a dimensão dos depósitos fluvioglaciários.

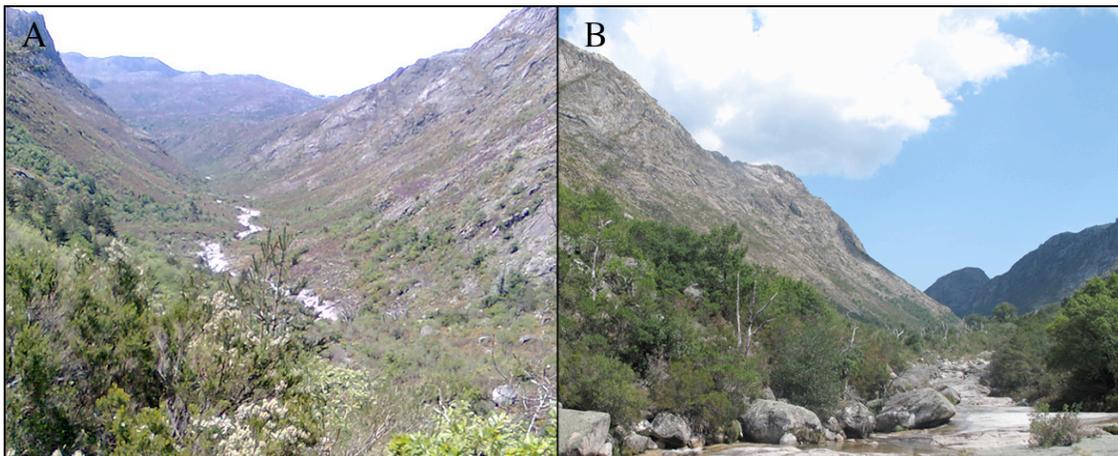


Figura 8 - Aspectos da morfologia glaciária do Vale do Homem (Serra do Gerês): A - Sector do vale com forma em “U”; B - Depósitos fluvioglaciários no fundo do vale.

Referências

- Amorim Girão, A. (1958) – Glaciação quaternária na Serra do Jures. *Boletim do Centro de Estudos Geográficos*, Coimbra, 16/17, 13-22.
- Carvalho, G.S., Nunes, J.L. (1981) – A problemática dos índices glaciários quaternários nas serras do Gerês e Peneda. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 3, 289-295.
- Choffat, P. (1895) – Promenade au Gerêz. Souvenirs d'un Géologue. *Boletim da Sociedade de Geografia de Lisboa*, 14 série, n.º 1, 1-8.
- Coudé, A., Coudé-Gaussen, G., Daveau, S. (1983) – Nouvelles observations sur la glaciation des montagnes du Nord-Ouest du Portugal. *Cuadernos do Lab Xeolóxico de Laxe*, 5, 381-393.
- Coudé-Gaussen, G. (1978) – Confirmation de l'existence d'une glaciation Würmienne dans les montagnes du Nord-Ouest du Portugal. *Compt. Rend. Somm. Soc. Géol. de France*, 1, 34-37.
- Coudé-Gaussen, G. (1979) – Les Serras da Peneda et do Gerês (Minho-Portugal) - Formes et formations d'origine froide en milieu granitique. Thèse 3eme Cycle, Paris, 607 p.
- Coudé-Gaussen, G. (1981) – Les Serras da Peneda et Gerês. *Memórias*, 5, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 254 p.
- Daveau, S. (1977) - Um exemplo de aplicação da teledetecção à investigação geográfica. A glaciação quaternária das montanhas do Noroeste de Portugal. Nota preliminar. *Finisterra*, 23, 156-159.
- Daveau, S. (1986) – Signification paléoclimatique du modele glaciaire et periglaciaire quaternaire au Portugal. Quaternary Climate in Western Mediterranean. *Proceedings of the Symposium on Climatic Fluctuations during the Quaternary in the Western Mediterranean Regions*, Madrid, 81-93.
- Ferreira, A.B. (1993) – Manifestações geomorfológicas glaciárias e periglaciárias em Portugal. In Carvalho, G.S., Ferreira, A.B. & Senna-Martinez, J.C. (Eds) *O Quaternário em Portugal, balanço e perspectivas*, Associação Portuguesa para o Estudo do Quaternário, Ed. Colibri, Lisboa, 75-84.
- Ferreira, A. B., Vidal Romani, J. R., Vilaplana, J. M., Rodrigues, M. L., Zêzere, J. L., Monge, C. (1992) – Formas e depósitos glaciários e periglaciários da serra do Gerês-Xurês (Portugal; Galiza). Levantamento cartográfico. *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 17, 121-135.
- Ferreira, A.B., Vidal Romani, J.R., Zêzere, J.L., Rodrigues, M.L. (1999) – A Glaciação Plistocénica da Serra do Gerês. Relatório 37, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 150 p.
- Fleury, E. (1916) – Sur les anciennes glaciations de la Serra de Estrela (Portugal). *Compt. Rend. Acad. Scienc.*, 162, Paris, 599-601.
- Moreira, A. & Ramos, J.F. (1981) – Vestígios de glaciações na Serra da Peneda (Noroeste de Portugal). *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 67(1), 95-98.
- Moreira, A., Ribeiro, M. (1991) – Notícia explicativa da Carta Geológica do Parque Nacional da Peneda-Gerês à escala 1/50 000. Serviço Nacional de Parques, Reservas e Conservação da Natureza / Parque Nacional da Peneda-Gerês, Braga, 57 p.
- Peixoto, L. (2008) – O património geomorfológico - glaciário do Parque Nacional da Peneda Gerês: proposta de estratégia de geoconservação. Tese de Mestrado em Património Geológico e Geoconservação, Universidade do Minho, Braga, 165 p.
- Pereira, P., Pereira, D., Casinhas, P. (2009) – Novos dados sobre a glaciação no sector Gorbelas-Junqueira (Serra da Peneda). *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, 6, 101-106.
- Ribeiro, O. (1955) – Portugal. Tomo V de Geografia de España y Portugal (Coord. M. Tèran), Barcelona, 290 p.
- Schmidt-Thomé, P. (1978) – Nuevos testigos de una glaciation wuermiense extensa y de altura muy baja en el Noroeste de la Peninsula Iberica (Orense, España y Minho/Trás-os-Montes, Portugal). In *Geologia de la parte norte del Macizo Ibérico*, Cuaderno del Seminario de Estudios Cerámicos de Sargadelos, 27, 219-243.
- Teixeira, C. & Cardoso, J. L. (1979) – A não confirmação de fenómenos glaciários nas montanhas do Norte de Portugal (Peneda-Gerês). *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, Vol. XXI, Lisboa, 163-184.
- Vidal Romani, J.R., Vilaplana J.M., Ferreira, A.B., Zêzere, J.L., Rodrigues, M.L. (1990) – Estudio de los till subglaciares de la Serra de Gerês-Xurês (Minho-Portugal; Ourense-Galicia). *Cuaternario y Geomorfología*, 4, 13-25.
- Vidal Romani, J.R., Fernandez, D. (1999) – Cronologia glaciaria pleistocena de la Serra de Gerês (norte de Portugal). *Estudios do Quaternário*, 2, 57-64.

3.3. Viagem ao Complexo Metamórfico da Foz do Douro: um património geológico a preservar

Mónica Sousa

Programa

09:00 - Saída de Braga em direcção ao Porto

10:00 - 12:00 - Centro Interpretativo do PGFD: Documentário sobre o Complexo Metamórfico da Foz do Douro; observação das litologias do CMFD ao microscópio.

12:00 - 14:00 – Almoço

14:00 - 18:00 - Visita de campo (início na Praia dos Ingleses e fim na Praia do Castelo do Queijo – inclui seis paragens)

18:00 - Regresso a Braga

<p>N.B. Em anexo a esta publicação sera entregue um guia de campo, que contém o enquadramento geológico do sector, com edição “Passeio Geológico da Foz do Douro”.</p>



APG
ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS

