Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Departamento de Geologia

O aproveitamento didáctico dos afloramentos existentes na proximidade das escolas — Agudela e Vila Chã: Espaços Geológicos de Aprendizagem

João Manuel Resende de Sousa Nogal

Sob orientação científica de

Doutora Maria dos Anjos Ribeiro

[Dissertação submetida à FCUP para obtenção do grau de Mestre em Geologia para o Ensino]

PORTO 2004

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Departamento de Geologia

O aproveitamento didáctico dos afloramentos existentes na proximidade das escolas – Agudela e Vila Chã: Espaços Geológicos de Aprendizagem

João Manuel Resende de Sousa Nogal

Reg. 1875
Cota 55:372.8
(043.2) INO6j/A

Sob orientação científica de
Doutora Maria dos Anjos Ribeiro

[Dissertação submetida à FCUP para obtenção do grau de Mestre em Geologia para o Ensino]

PORTO 2004

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DO PORTO
BIBLIOTECA

À Leonor e à Maria João,
companheiras de caminho,
pela honra de com elas partilhar
este Espaço e este Tempo!

Agradecimentos

À Direcção Regional de Educação do Norte pelas facilidades concedidas na gestão do horário de trabalho.

Ao Arqº Mendes Pinheiro pela colaboração facultada na produção dos mapas geológicos.

À Doutora Maria dos Anjos Ribeiro pela orientação, aconselhamento e apoio, bem como pela total disponibilidade manifestada ao longo do tempo de preparação desta dissertação, nomeadamente no que concerne à partilha dos conhecimentos.

Ao Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto pelas facilidades concedidas, nomeadamente, ao nível dos recursos materiais disponibilizados.

A areia do mar, os pingos da chuva,
os dias da eternidade, quem os poderá contar?
A altura do céu, a amplidão da terra,
a profundeza do abismo, quem as poderá explorar?.

Eclo 1, 2-3

Cada aspecto da Natureza revela um profundo mistério
e acorda em nós um sentimento de respeito e de deslumbramento.

Carl Sagan

To go out into the field with a geologist
is to witness a type of alchemy,
as stones are made to speak.
Geologists imaginatively
reclaim worlds from the stones they're trapped in.

R. L. Frodeman

Índice

Resumo/Abstract..... 8
1. Introdução..... 9
1.1. Identificação do problema..... 10
1.2. Objectivos de investigação..... 11
1.3. Metodologia de investigação..... 11
2. O Trabalho de Campo..... 12
2.1. O Trabalho de Campo e o desenvolvimento da sociedade..... 13
2.1.1. Algumas finalidades do trabalho do geólogo..... 14
2.1.2. O tempo e o espaço segundo o geólogo..... 15
2.2. O Trabalho de Campo em Geologia..... 16
2.2.1. Metodologia e importância do Trabalho de Campo para o conhecimento geológico..... 16
2.2.2. Preparação do Trabalho de Campo e material necessário..... 17
2.2.3. Alguns procedimentos básicos no terreno..... 19
2.3. A especificidade do Trabalho de Campo em regiões com Rochas Metamórficas. 23
2.4. O Trabalho de Campo no ensino da Geologia..... 25
3. Caracterização da região estudada..... 32
3.1. Localização geográfica e geomorfológica..... 33
3.2. Enquadramento estrutural e geotectónico..... 36
3.2.1. A orogenia Varisca ou Hercínica..... 37
3.3. Caracterização geológica e especificidades litológicas..... 40
3.4. Tipos de rocha aflorantes nos locais estudados..... 41
4. As rochas metamórficas e a migmatização – enquadramento teórico..... 45
4.1. Princípios de nomenclatura..... 46
4.2. Rochas metamórficas..... 48
4.2.1. Uma proposta de nomenclatura..... 49
4.3. Tipos de metamorfismo..... 53
4.4. Terrenos metamórficos e magmáticos em contexto orogénico..... 58
4.4.1. A situação existente no NW da Península Ibérica..... 60
4.5. Migmatitos e rochas associadas..... 63
4.5.1. Origem dos migmatitos..... 70
5. Agudela e Vila Chã: Espaços Geológicos de Aprendizagem..... 77

5.1. Agudela..... 80
Litologias..... 80
Contactos geológicos..... 83
Estruturas geológicas..... 86
Estudo petrográfico..... 88
Proposta de actividade..... 93
Base topográfica na escala 1/2000 e Carta Geológica..... 97
5.2. Vila Chã..... 98
Litologias..... 98
Contactos geológicos..... 102
Estruturas geológicas..... 104
Zona de cisalhamento..... 108
Estudo petrográfico..... 110
Proposta de actividade..... 117
Base topográfica na escala 1/2000 e Carta Geológica..... 122
6. Considerações finais..... 123
6.1. Proposta de procedimento para identificação e divulgação de Espaços Geológicos de Aprendizagem (EGA)..... 124
6.2. Conclusões..... 127
Bibliografia..... 129

Resumo

O Trabalho de Campo (TC) no ensino da Geologia ajuda ao desenvolvimento de procedimentos e de atitudes e auxilia à compreensão de conceitos geológicos como o tempo e o espaço. Se introduzido precocemente nos currículos suscitará nos alunos o interesse pelo conhecimento do mundo natural.

Quando o TC se realiza em regiões com rochas metamórficas, os conhecimentos prévios a mobilizar são mais vastos e complexos, pois envolvem todo o ciclo geológico.

Desenvolvemos TC na Agudela e em Vila Chã (litoral Norte de Portugal), encontrando-nos perante afloramentos localizados na região costeira, constituídos por, respectivamente, granitos gnáissicos e migmatitos.

É feita uma abordagem aos recentes trabalhos da SCMR e às propostas de nomenclatura dos diferentes grupos de trabalho desta subcomissão, nomeadamente, no que concerne às definições que envolvem rochas metamórficas e metamorfismo, bem como no que respeita à origem dos migmatitos.

Apresenta-se uma proposta de procedimento para a identificação e a divulgação de afloramentos situados na proximidade dos estabelecimentos de ensino e que possuam potencial didáctico para o ensino da Geologia.

Palavras-chave: Trabalho de Campo; ensino da Geologia; metamorfismo; migmatitos; "melt"; locais de interesse geológico.

Abstract

Geology fieldwork is a helpfull tool in the teaching geology process because it provides an opportunity for developing skills and understanding geologic features as time and space. If fieldwork is early used in geology teaching it will increase the need of knowledge about the natural world in our students.

Geology fieldwork conducted in a natural metamorphic field is more complex; we must use a lot of concepts while we are working with metamorphic rocks. Those concepts involve the complete geologic cicle.

Our fieldwork in Agudela e Vila Chã region (Portugal north litoral) in the north coast of Porto city fall upon outcrops of gneissic rocks and migmatites.

We provide a review about the state of the art promoted by the SCMR in this kind of litology and the terms envolving metamorphic rocks that are actually beeing proposed.

Is presented a model of proceding for listing information about outcrops that are located in the neighbourhood of schools that possess geological didactic potencial.

Key-words: fieldwork; geology teaching; metamorphism; migmatites; melt; places with geologic interest.

1. Introdução

1. Introdução

A promoção do contacto com os afloramentos rochosos tornou-se, para nós, enquanto docentes de Ciências Naturais e, por arrastamento, de Geologia, uma necessidade inevitável. Acreditamos que é possível mostrar aos nossos alunos que por baixo das salas de aulas, dos recreios, das ruas e das casas, está um mundo de rochas encantadas ansiando por nos revelar os seus segredos.

É neste *mundo* – o das rochas dos lugares onde vivemos – que pretendemos encontrar afloramentos, uns mais didácticos que outros, que auxiliem na tarefa de ensinar Geologia.

Assumindo, à partida, a convicção de que é urgente privilegiar a educação dos futuros cidadãos, mais do que a educação do futuro cientista (geólogo, biólogo, físico, ...) tentamos chamar a atenção para a necessidade de educar o olhar dos nossos alunos direccionando-o para os afloramentos rochosos, sem deixar de lhes facultar a oportunidade de *desenhar* as actividades de campo que vão tentar responder aos problemas por eles formulados.

1.1. Identificação do problema

Foi constatando que o Trabalho de Campo (TC) tem vindo a ser cada vez menos desenvolvido ao nível do ensino básico e secundário e de que esta lacuna não é preenchida por desconhecimento dos afloramentos existentes na vizinhança dos estabelecimentos de ensino, por desconhecimento do valor didáctico dos afloramentos ou por inexistência de informação geológica, descodificada e acessível, relativa à região onde se localizam as escolas, que nos disposemos a desenvolver uma investigação, centrada no TC, por forma a disponibilizar *alguma* informação, relativa às zonas onde decorreu o trabalho que resultou nesta dissertação.

Por tudo quanto ficou dito, o conhecimento das rochas que existem na proximidade das escolas, pode ajudar os futuros cidadãos na defesa e preservação da riqueza geológica local/regional, cumprindo a sua Escola a tarefa de lhes facultar conhecimentos específicos da Geologia, os quais serão apreendidos de forma mais significativa se o ambiente de ensino-aprendizagem for o que idealmente a isso melhor se adequa: o campo.

1.2. Objectivos de investigação

A região litoral das freguesias de Lavra e de Vila Chã, onde se localizam, respectivamente, a praia da Agudela e a praia de Vila Chã, locais próximos das escolas EB 2,3 de Lavra e EB 2,3 de D. Pedro IV, possui uma enorme riqueza litológica. No entanto, não existem muitos estudos específicos (e recentes) sobre a geologia da zona. Dada a inexistência de documentação específica sobre os referidos locais, entendeu-se que produzir informação sobre aquelas zonas possibilitaria a constituição de um auxiliar para os docentes daqueles estabelecimentos de ensino, com vista à realização de TC em Geologia (ou multidisciplinar).

Assim, assumimos como objectivo principal desta dissertação, a recolha de informação geológica e geomorfológica, das zonas de trabalho, inventariando exemplos didácticos capazes de se constituirem como auxiliares no processo de ensino-aprendizagem e como pólos de divulgação do património geológico local.

Para conseguir atingir tal objectivo, procurou-se:

- identificar locais próximos dos estabelecimentos de ensino da referida zona litoral, com potencialidades para a realização de TC;
- proceder ao levantamento e caracterização das unidades litológicas da região (com especial relevo para as rochas metamórficas);
- identificar as unidades litológicas da região (com especial relevo para as rochas metamórficas);
- desenvolver recursos materiais de apoio ao currículo da disciplina de Geologia, nomeadamente, inventário fotográfico, recolha de amostras, esquemas interpretativos.

1.3. Metodologia de investigação

Para concretizarmos esta dissertação, desenvolveu-se um método de trabalho que se pensou capaz de conduzir à concretização dos objectivos propostos.

Nesta conformidade, foram realizadas as seguintes actividades:

- reconhecimento geológico prévio da regiões escolhidas (Agudela e Vila Chã);
- pesquisa bibliográfica;
- Trabalho de Campo:
  * estudo pormenorizado das áreas com base na bibliografia e cartografia existentes;
  * selecção de aspectos geológicos com potencial didáctico para o ensino da Geologia.

2. O Trabalho de Campo

2.1. O Trabalho de Campo e o desenvolvimento da sociedade

O trabalho do geólogo efectua-se, quase sempre, em situações que envolvem lacuna de dados e a utilização, como meio de investigação, de pouco mais do que os seus próprios olhos, nomeadamente, quando as acessibilidades a um determinado afloramento não facilitam o transporte de material. Existe, ainda, uma dificuldade acrescida: a impossibilidade de realizar observações directas da maioria dos processos em estudo, em virtude do tempo requerido para o seu desenvolvimento (Mateus, 2001).

De acordo com este cenário compreende-se que o citado autor afirme que «"Olhar" a Terra na perspectiva de um geólogo, significa observar, caracterizar, compreender e explicar a dinâmica dos sistemas naturais, algo que exige capacidades de análise, de discussão e de avaliação crítica do conhecimento geológico adquirido, integrando de forma sistemática os saberes obtidos no âmbito de abordagens multi- e interdisciplinares».

Assim, no desenvolvimento da sua actividade, o geólogo começa, na maior parte das vezes, por realizar um estudo geológico da região onde se realizarão os seus trabalhos. O Trabalho de Campo (TC) constitui a primeira fase dos seus trabalhos. O geólogo vai localizando os afloramentos que lhe interessa analisar nas cartas topográficas e/ou geológicas, fazendo, simultaneamente, colheita de amostras de rochas, minerais ou fósseis (Instituto Geológico e Mineiro, 2001). Esta recolha deve ser acompanhada por um criterioso registo dos exemplares recolhidos, com o recurso à etiquetagem dos espécimes, bem como ao registo do local da colheita na carta, para, numa segunda fase, proceder a uma análise complementar em laboratório.

A recolha de amostras pode incluir a observação de testemunhos de sondagens, se para lá da investigação à superfície resultar a necessidade de conhecer zonas mais profundas da crusta terrestre. Também aqui, o geólogo procederá ao estudo pormenorizado de variáveis como a fracturação ou a variação da litologia, entre outros aspectos decorrentes das particularidades do estudo.

Já no laboratório, o geólogo poderá realizar vários estudos complementares, dos quais se destacam:

- o estudo macroscópico das amostras, permitindo uma clarificação prévia que será detalhada e completada com outros estudos;
- o estudo petrográfico (petrografia) que visa a determinação, em lâminas delgadas de rocha (com um microscópio petrográfico), de minerais, microestruturas e outras características;

- as análises químicas, que permitem determinar a composição de uma rocha ou mineral, com identificação da percentagem de elementos importantes (op. cit.).

Numa última fase, os dados de campo e de laboratório, vão permitir ao geólogo o tratamento e interpretação que culminará com a produção de um relatório final, com as conclusões do estudo efectuado.

Complementarmente às actividades que resumidamente se enunciaram, os geólogos recorrem a outros meios e métodos para investigar a estrutura interna da Terra. É lançando mão dos chamados métodos indirectos, onde se incluem os métodos geofísicos (sísmicos ou gravimétricos, por exemplo), que se efectuam cálculos físicos que ajudam à compreensão dos acontecimentos geológicos e produzem dados que fundamentam teorias explicativas de certos fenómenos geológicos (Instituto Geológico e Mineiro, 2001).

2.1.1. Algumas finalidades do trabalho do geólogo

A actividade do geólogo, nomeadamente o TC, visa, ainda (Rebelo, 1999):

1) a prospecção e exploração de matérias primas – envolvendo a selecção das áreas a prospectar, o planeamento da prospecção, o estudo da geometria (forma) do jazigo mineral, o cálculo de reservas e o controlo da exploração;

2) a prospecção e exploração de fontes de energia – está associada ao TC por via do reconhecimento do tipo de rocha e da sua idade, para o lançamento de um plano de sondagens que seja fiável na pesquisa de petróleos, carvões, minerais radioactivos e fontes geotérmicas;

3) a escolha de locais destinados à implantação de grandes obras de engenharia – nomeadamente para permitir o conhecimento do local onde vão assentar as fundações de centrais nucleares, barragens, estradas, túneis, pontes, caminhos de ferro, portos e grandes edifícios;

4) a prospecção e preservação das águas subterrâneas – para prever o tipo de rochas que se encontram em profundidade e qual a sua orientação espacial, bem como para a identificação de reservatórios naturais, quer para permitir a sua exploração quer para evitar a sua contaminação;

5) a avaliação do risco sísmico – pela identificação e estudo de acidentes tectónicos que afectam a crusta terrestre (em especial os mais recentes) e pelo conhecimento do tipo de rochas sobre as quais assentam (ou vão assentar) as obras, tornando possível a previsão do comportamento das fundações durante a propagação das vibrações sísmicas;

6) o planeamento e ordenamento do território – pela definição das áreas agrícolas, das áreas a preservar face aos condicionalismos das formações geológicas e das áreas que constituem reservatórios naturais de água;

7) a inventariação e preservação do património geológico (e arqueológico) – permitindo, desta forma, o conhecimento da natureza, distribuição e localização dos materiais rochosos, jazidas fossilíferas e estações arqueológicas e a salvaguarda dos locais com significado na dedução da história geológica regional.

2.1.2. O tempo e o espaço segundo o geólogo

Um outro aspecto importante a salientar, no que concerne ao TC em Geologia – e ao TC no ensino da Geologia – relaciona-se com a sua contribuição para a compreensão das dimensões espaço e tempo, envolvidas nos processos e produtos geológicos; no entanto, no campo, são maioritariamente observados produtos e não processos.

Para Mateus (2001) «o tempo envolvido nos processos e eventos geológicos comuns distribui-se por variadíssimas ordens de magnitude: do sismo quase instantâneo aos processos orogénicos desenvolvidos ao longo de milhões de anos; das erupções vulcânicas ocasionais aos ciclos de instabilidade mantélica que durante milhares de anos fomentaram intensa actividade magmática à escala do planeta; das inundações sazonais à deposição de sequências sedimentares com espessuras quilométricas, passando pela erosão fluvial ou costeira mensurável à escala humana; do crescimento de um simples cristal de pirite ao desenvolvimento de massas de minério sulfuretado com milhares (não raras vezes milhões) de toneladas (...)».

Assistimos a algo parecido quando nos debruçamos sobre a dimensão espaço, para apreciarmos os efeitos resultantes de um qualquer processo ou evento geológico. Para os geólogos, assim como para os professores de Geologia, a atenção dedicada a um dado fenómeno geológico, pode efectuar-se em termos de «(...) micro-macroescala e de macro-mesoescala, só para citar as escalas que mais frequentemente se usam nas pesquisas geológicas (...)» (op. cit.). Não queremos com isto retirar qualquer valor às observações/investigações que envolvem uma megaescala ou uma escala submicroscópica[1]. Perante esta realidade que nos confronta com "dimensões" relativamente às quais é necessário uma grande racionalização, ganha todo o sentido o recurso à realização de TC como estratégia

[1] Escalas «particularmente úteis quando se abordam problemas relacionados, por exemplo, com a tectónica de placas e com as propriedades físicas dos materiais» (Mateus, 2001).

de ensino da Geologia, pois promove uma preparação que facilitará o entendimento das variáveis tempo e espaço[2].

2.2. O Trabalho de Campo em Geologia

A importância do Trabalho de Campo (TC) na vida profissional da maior parte dos geólogos, resulta do facto de ser através do TC que aqueles profissionais obtêm dados primários sobre os locais onde desenvolvem a sua actividade; o TC constitui-se como uma aprendizagem prática, associada ao contacto com o seu objecto de estudo: a Terra. O campo torna-se, ao mesmo tempo, "professor" e "livro" de Geologia.

Para além de toda esta importância – específica da sua actividade profissional – o geólogo deve ser capaz de se tornar num pólo de divulgação científica, transmitindo aos vulgares cidadãos (e aos alunos de Geologia) conhecimentos sobre o planeta onde vivemos.

2.2.1. Metodologia e importância do Trabalho de Campo para o conhecimento geológico

De acordo com Compton (1985) «(...) os estudos de campo oferecem vantagens únicas para a resolução de problemas geológicos (...)». Este autor especifica algumas dessas vantagens:

- os materiais e estruturas podem ser identificados mais facilmente, se observados no seu contexto próprio;
- as interpretações feitas no terreno podem confrontar-se, de imediato, com as previsões realizadas;
- o estudo de associações de materiais e estruturas, pode conduzir à descoberta de novas características e relações e, por conseguinte, a novas ideias.

Ainda de acordo com o referido autor o TC fundamenta-se em três tipos de informação. O primeiro é constituído pelos dados objectivos provenientes das observações e medições directas. São disso exemplos a textura de uma rocha, a direcção ou inclinação de estratos ou a relação espacial entre duas massas rochosas. Trata-se, pois, de dados objectivos que serão a base da informação contida num mapa geológico.

---

[2] «Tempo e espaço formam um binómio incontornável em Geologia. Por espaço entende-se o domínio tridimensional no qual o fenómeno natural se desenvolve ou ocorreu e onde se define o objecto em estudo, estando-lhe subjacente dois aspectos distintos: a escala e a dimensão. A escala traduz unicamente a resolução à qual o objecto é aferido e observado. A dimensão, em sentido vulgar do termo (tamanho), corresponde à simples

O segundo tipo de informação está associado à interpretação, já que certas associações de rochas ou estruturas primárias, por exemplo, implicam condições e ambientes genéticos específicos. Neste aspecto particular do TC, as interpretações dependem consideravelmente da percepção e experiência do geólogo, que não deve descurar a possibilidade de serem cometidos erros.

Finalmente, o terceiro tipo de informação diz respeito às relações cronológicas que, apesar de serem em parte objectivas e em parte subjectivas, concorrem para a ordenação dos fenómenos geológicos. Esta ordem é particularmente importante, na medida em que a Geologia é uma ciência histórica, pois cada evento geológico e cada rocha ou estrutura são únicos.

O contributo do TC, nomeadamente para o ensino e aprendizagem da Geologia, encontra uma boa justificação nas palavras de S. W. Muller (in Compton, 1985): «O trabalho de campo aprende-se no campo; logo, devemos ir lá o mais precoce e o mais frequentemente possível»[3].

2.2.2. Preparação do TC e material necessário

Uma vez que estamos a abordar a actividade do geólogo profissional, torna-se oportuno elencar alguns dos procedimentos a realizar antes da ida para o campo. Uma das etapas a considerar relaciona-se com a definição/identificação da(s) área(s) a cartografar/estudar. Esta actividade é realizada pelo geólogo (ou equipa de trabalho) estabelecendo-se as condições de acesso ao local e aferindo-se o grau de complexidade geológica da zona. Subsequentemente, proceder-se-á a uma interpretação da cobertura fotográfica aérea da região (quando exista) e a uma revisão bibliográfica dos estudos existentes sobre a zona onde vai decorrer o trabalho.

Depois de realizadas estas actividades preliminares, proceder-se-á à realização da etapa de campo que conduzirá ao levantamento geológico da região, balizado pelos objectivos previamente definidos em função da natureza global do trabalho. O material necessário à realização do TC (em Geologia) é bastante vasto embora, na generalidade, corresponda a utensílios simples, a saber:

---

comparação volumétrica entre objectos similares ou entre os domínios do espaço que registam os efeitos de um determinado processo geológico» (Mateus, 2001).

[3] «Field geology is learned in the field; therefore one must go there as soon and as frequently as possible».

- mapa topográfico base da região em estudo (e algumas cópias para registo do levantamento a realizar);

- mapa geológico da região (quando exista);

- lápis de cor;

- lápis preto;

- borracha;

- transferidor, régua e esquadros;

- martelo de geólogo/pequena marreta e cinzel;

- caderno de campo;

- bússola;

- lupa de bolso;

- cantil;

- pequena lanterna (e pilhas sobressalentes);

- impermeável, guarda-chuva de encolher e agasalho (se a época do ano e o local o aconselharem);

- ácido clorídrico (pequeno frasco);

- canivete;

- íman;

- sacos plásticos (resistentes), etiquetas autocolantes e fita-cola;

- caneta para retroprojector;

- máquina fotográfica;

- estojo de primeiros socorros (com protector solar);

- mochila.

Nos dias de hoje é aconselhável que um profissional de Geologia se faça acompanhar de:

- telemóvel (útil em situações de emergência, mas dependente da existência de cobertura na zona de trabalho);

- GPS (quando a complexidade do trabalho a realizar o exija e o orçamento disponível o permita).

2.2.3. Alguns procedimentos básicos no terreno

Como já referimos, a melhor forma de começar o TC é através da realização de um levantamento geológico. Segundo Compton (1985) um mapa (geológico) pode ser construído a partir de uma folha em branco, mas um mapa topográfico é importante para localizar os dados geológicos, já que «(...) as cartas topográficas dão-nos apenas informações respeitantes ao relevo e sobre o que existe acima da superfície topográfica (...)» (Rebelo, 1999). Ao fazermos este levantamento geológico e ao produzirmos uma carta geológica teremos um «(...) documento didáctico, já que transmite directamente a quem a utiliza, toda uma série de conhecimentos sobre materiais rochosos da região a que diz respeito (...)»[4].

O levantamento geológico incide sobre os afloramentos existentes na região em estudo - ao designarmos por afloramento certos materiais rochosos, partimos do pressuposto de que estes se encontram *in situ*. Para Compton (1985) constituem uma porção da superfície da Terra que pode ser observada directamente.

Torna-se óbvio que o seu exame atento constituirá a base do TC do geólogo. Refere o autor que «(...) a primeira actividade física a desenvolver quando se estuda um afloramento é observar. Muitos afloramentos têm bastante para observar e o desafio é fazê-lo cuidadosamente e ver o mais possível (...)» (Compton, 1985). Só assim se conseguirá passar para a fase seguinte que corresponde a uma interpretação mais completa das rochas e estruturas. O citado autor recomenda que tal interpretação seja feita no local em estudo, pois dessa forma poder-se-ão testar as interpretações, confrontando-as com outros materiais ou relações previstas. As interpretações decorrem das relações observadas e dos materiais expostos. No entanto, resultam de semelhanças com afloramentos (ou rochas), modelos ou ideias existentes, bem como, de informação prévia resultante da pesquisa bibliográfica. Compton (1985) chama especial atenção para a necessidade de desenvolver o poder de abstracção, para tornar possível a formulação duma imagem global do afloramento em termos estruturais.

[4] «Para o professor, constitui um valioso auxiliar como material de apoio na explanação das suas lições» (Rebelo, 1999).

As notas de campo devem ser objecto de cuidados especiais, evitando-se que fiquem ilegíveis ou demasiado abreviadas, devendo ser organizadas com o recurso a frases estruturadas. Desta forma, não se perderá o exacto sentido das ideias que fluíram em presença dos afloramentos. Estes registos devem ficar concluídos no local e não se devem alterar, excepto se essas mudanças corresponderem a situações perfeitamente identificadas.

Outros aspectos importantes das anotações são os desenhos e as fotografias. No primeiro caso, aceita-se que os esquemas poupam tempo na descrição dos afloramentos e permitem um melhor registo das observações, quando estas são complexas. Um aspecto interessante, focado por Compton (1985), tem a ver com o facto de o desenho contribuir para a observação, uma vez que nos força a um olhar mais atento; um desenho implica uma observação atenta e, sobretudo, uma análise com espírito crítico sobre a hierarquia dos factos observados.

A esquematização de pequenos cortes também pode conduzir a uma melhor compreensão da totalidade do afloramento. O referido autor reforça esta necessidade da seguinte forma: «(...) os desenhos não precisam de ser "artísticos" ou de qualquer outra forma atractivos, mas devem mostrar correctamente as proporções, as relações angulares e as formas de aspectos importantes (...)».

Quanto às fotografias, estas levam pouco tempo a fazer e mostram as características do afloramento exactamente como são. O seu uso torna-se particularmente útil quando reproduzem (Compton, 1985):

1) vários ângulos do afloramento, evidenciando a relação com os materiais envolventes;
2) relações cronológicas características;
3) vistas em *close-up* de estruturas primárias e secundárias;
4) contactos bem definidos;
5) variações de composição e de textura das rochas.

Também este aspecto do TC requer prática e cuidados técnicos, tais como: atenção à direcção da luz, à proximidade do objecto e à profundidade de focagem.

Estas indicações sobre o TC em Geologia não ficariam completas se não se fizesse referência às anotações relativas à orientação das estruturas observadas. Assim, é importante medir a direcção e a inclinação de elementos como estratos, filões em rochas magmáticas ou metamórficas, lineações, clivagens, falhas, diaclases ou veios. Neste registo, assume um papel de destaque a medição da orientação de lineações, dado o seu contributo para a compreensão da história geológica do local e do próprio afloramento. São os casos das direcções que

permitem inferir como se orientavam as correntes que actuaram sobre os sedimentos existentes em rochas sedimentares ou qual era a orientação do fluxo magmático (ou lávico).

Outras estruturas com contributo importante para a compreensão da história geológica do afloramento (e da região onde este se localiza) são aquelas que se formam durante episódios de deformação, umas em regime dúctil (estando marcadas por minerais de neoformação ou dobras – figura 1), outras em regime frágil (falhas).

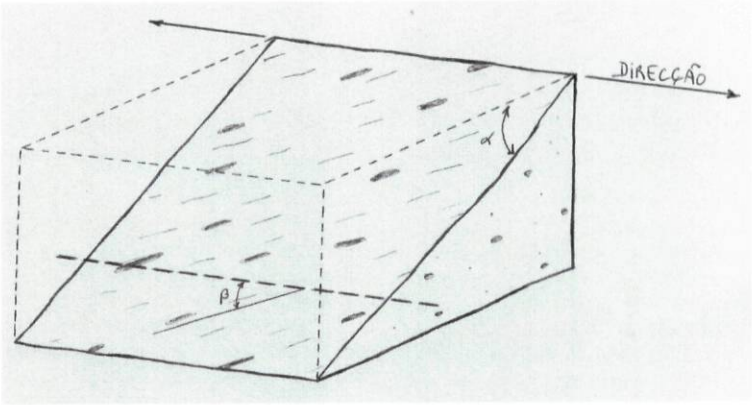


Figura 1 – Direcção e inclinação de um plano.
α – ângulo de inclinação (é medido perpendicularmente à direcção e corresponde à linha de maior declive do plano);
β - pitch (ângulo que as estruturas lineares estabelecem com referência à direcção do plano).
[adaptado de Compton, 1985]

A recolha de amostras orientadas pode, de acordo com Compton (1985) permitir:

1) estudos laboratoriais de diferentes naturezas – estudo microscópico petrográfico e mineralógico;

2) a caracterização de macro e micro estruturas;

3) o estudo da evolução petrogenética por reconhecimento de reacções mineralógicas;

4) a comparação de rochas de diferentes zonas de uma área.

As amostras devem ser o mais "frescas" possível, embora os aspectos característicos da sua alteração possam ajudar na identificação macroscópica e microscópica de certos minerais. Um outro aspecto a considerar é o da orientação das amostras; a recolha de amostras com estruturas lineares ou planares, deverá ser feita devidamente orientada.

Pelo que ficou dito, a amostra orientada deverá conter indicações gráficas feitas pelo colector, visando reconstituir a sua orientação espacial, quando fazia parte do afloramento. A recolha de uma amostra orientada carece de uma marcação efectuada sobre a superfície da amostra (com uma vulgar caneta de acetato) e do conveniente registo no livro de campo, de toda a informação considerada útil. Haverá, certamente, muitas maneiras de se orientar uma

amostra, mas é importante que seja utilizado um método convencional (figura 2) – para evitar confusões aquando do tratamento posterior dos dados relativos à amostragem efectuada.

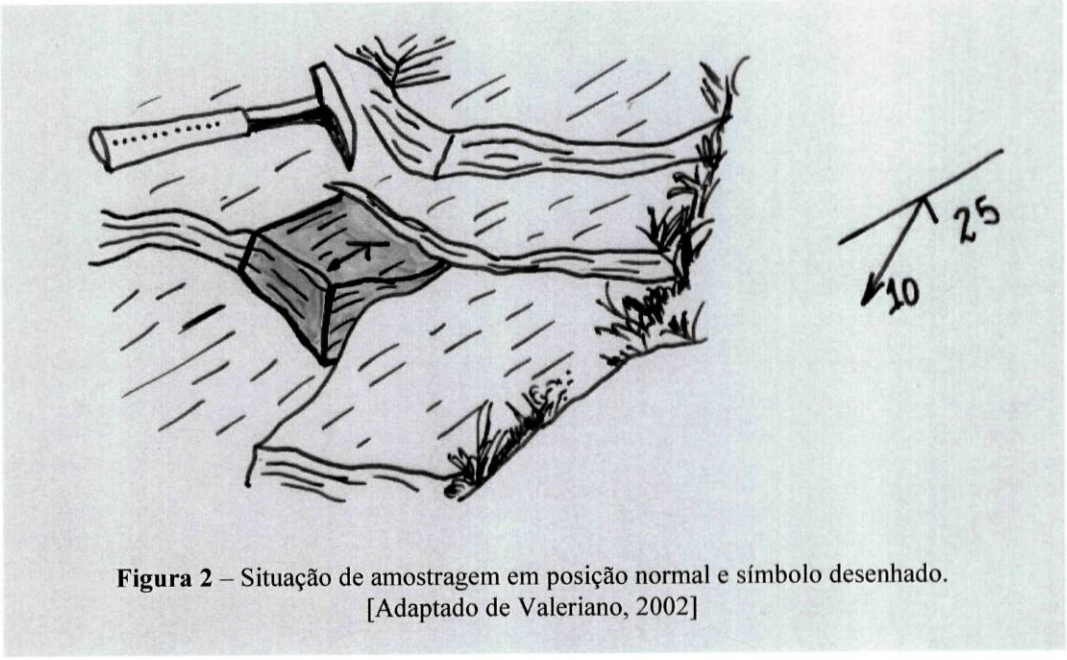


Figura 2 – Situação de amostragem em posição normal e símbolo desenhado. [Adaptado de Valeriano, 2002]

Se, pelas características da posição da amostra, não for possível fazer a marcação numa superfície superior, esta poderá ser feita na superfície inferior – utilizando-se um símbolo específico (figura 3), isto porque em TC o ponto de vista normal é de cima para baixo e não o inverso.

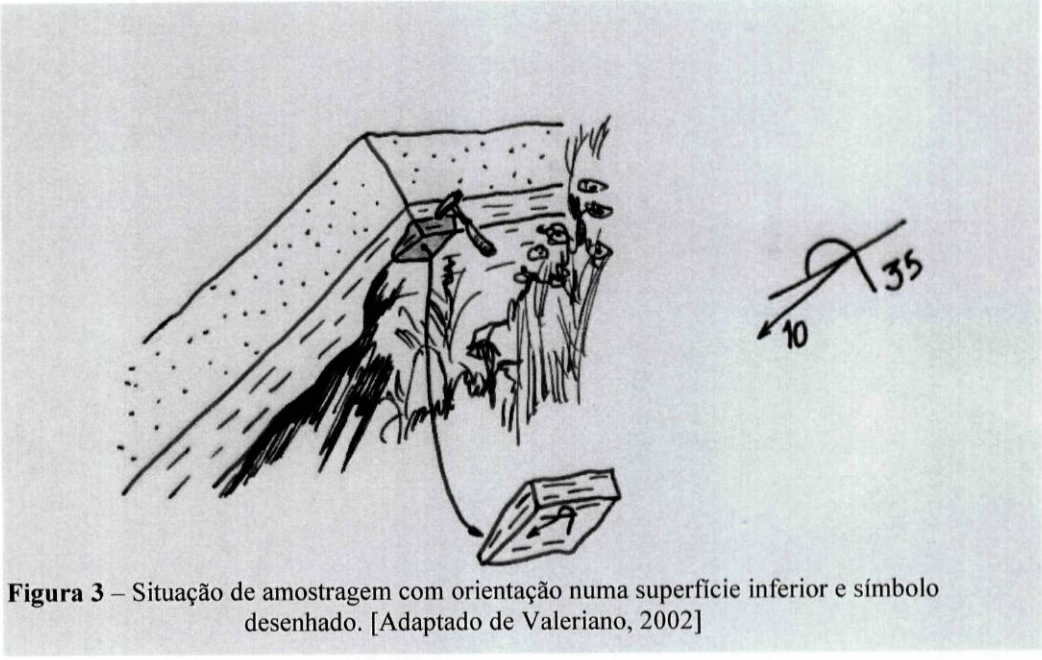


Figura 3 – Situação de amostragem com orientação numa superfície inferior e símbolo desenhado. [Adaptado de Valeriano, 2002]

Quando a amostra possuir elementos lineares (ver figuras 2 e 3), a anotação deve contemplar informação relativa ao elemento em apreço (estiramento ou alinhamento de minerais), traduzido por uma linha paralela a essa lineação e uma seta – indicando o sentido da inclinação. Tal anotação deve estar associada aos elementos relativos ao plano onde se encontra a lineação, uma vez que uma linha não é suficiente para definir a orientação da amostra. Como já ficou dito, todas as anotações devem ser objecto de registo no livro de campo.

2.3. A especificidade do Trabalho de Campo em regiões com Rochas Metamórficas

A realização de Trabalho de Campo pressupõe, entre outras actividades, a identificação das rochas nos respectivos afloramentos, de forma a que seja possível a interpretação de outras características aí observáveis. Para Compton (1985) a identificação das rochas é, não raras vezes, mais fácil no campo do que no laboratório, uma vez que alguns minerais e texturas são mais evidentes em superfícies alteradas (e limpas) do que em superfícies recentemente fracturadas, embora, na maior parte das vezes, a identificação de minerais e texturas seja favorecida pela observação de uma superfície fresca; acrescenta o autor que, no campo, existe muito material disponível para pesquisar – até mais do que o necessário – permitindo identificar pequenas características das rochas ou especificidades dos seus constituintes. Complementarmente, quer as associações entre os diferentes tipos de rocha, quer as estruturas primárias e secundárias, são auxiliares preciosos nas identificações feitas no terreno, até mesmo no caso de algumas características identificáveis com o recurso à lupa de bolso.

Mais do que em zonas constituídas por qualquer outro tipo de rocha, o TC em regiões metamórficas envolve a identificação e cartografia baseadas na observação, descrição e interpretação de diversos aspectos e a diferentes escalas, já que o metamorfismo é o resultado de um conjunto de processos e acontecimentos que poderão ter ocorrido em simultâneo ou de forma sequencial.

Para Compton (1985) é importante promover uma atenta identificação da textura e da estrutura da rocha, características que define da seguinte forma:

textura – aspecto geral da rocha devido ao tamanho, forma e relação espacial entre os grãos que a constituem;

estrutura – corresponde aos domínios do corpo rochoso que diferem, na textura ou na composição, de outras partes do afloramento.

Tanto a textura como a estrutura podem fornecer importantes indicações, nomeadamente, do ponto de vista genético, sendo frequentemente mais fáceis de reconhecer do que a própria mineralogia.

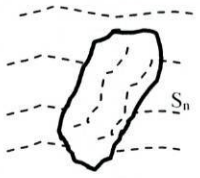
As texturas metamórficas resultam do crescimento dos grãos em rochas que se mantêm no estado sólido. Os episódios de deformação que afectam com frequência as rochas metamórficas, podem ser ou não simultâneos dos processos de recristalização. Compton (1985) afirma que devido ao crescimento[5] simultâneo dos cristais, estes tendem a incluir-se uns aos outros, não manifestando uma ordem de cristalização (como nas rochas ígneas). A forma perfeita dos cristais existentes nas rochas metamórficas depende mais da capacidade de crescimento do mineral, do que do episódio de metamorfismo durante o qual se formou. A actuação dos diferentes agentes de metamorfismo confere às rochas metamórficas características texturais cujo reconhecimento, aquando da realização de TC é muito importante.

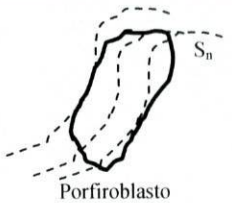
O estudo das rochas metamórficas, quando se realiza TC, apesar da importância do reconhecimento das texturas como auxiliar da identificação das referidas rochas, não pode descurar o conhecimento dos diversos tipos de metamorfismo (ver ponto 4.3.) os quais dependem dos processos preponderantes – térmico, dinâmico, alta pressão, metassomático – bem como do tipo de rochas envolvidas nos referidos processos e que já existiam antes da sua actuação (protólitos).

Para a descrição das rochas metamórficas – em contexto de TC – importará, também, a capacidade de reconhecimento dos protólitos (ou sequências pré-metamórficas) para a definição de unidades metamórficas. Na Tabela 1 resumem-se os critérios a utilizar para caracterizar os corpos litológicos em contexto metamórfico.

[5] Este crescimento pode ser de novos minerais – cristalização ou blastese metamórfica – ou verificar-se a recristalização de grãos já existentes na rocha inicial – o protólito metamórfico. É de referir que as rochas metamórficas para além de apresentarem características decorrentes do processo metamórfico que as gerou, podem ter preservadas características do respectivo protólito – ígneo, sedimentar ou já metamórfico. Deste modo, a descrição das texturas e estruturas das rochas metamórficas implica, muitas vezes, descrições de aspectos inerentes a outros tipos de rochas.

Tabela 1 – Critérios para caracterização das rochas quando se realiza TC em contexto metamórfico.

<table>
<tr><td>Litologia e sequência pré-metamórficas (os protólitos das rochas metamórficas)</td><td colspan="3">Se o metamorfismo destruiu todas as estruturas e mineralogia primárias, a litologia original pode ser estimada com base nas proporções dos minerais metamórficos, assumindo que o processo foi isoquímico</td></tr>
<tr><td>Unidades litológicas e estruturas pré-metamórficas</td><td colspan="3">As texturas e estruturas primárias (pré-metamórficas) condicionam o desenvolvimento da deformação, assim como a mineralogia primária condiciona a recristalização metamórfica; os fósseis são muitas vezes preservados em metamorfismo de baixo grau ou mesmo em metamorfismo de alto grau nas auréolas de contacto</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tipo e intensidade da deformação (relação entre deformação e recristalização)</td><td colspan="3">O metamorfismo é quase sempre acompanhado por deformação; a caracterização da deformação e a definição de uma cronologia relativamente ao metamorfismo são indispensáveis na definição das unidades metamórficas</td></tr>
<tr><td> 

Porfiroblasto pré-foliação S_n</td><td> 

Porfiroblasto sin-foliação S_n</td><td> 

Porfiroblasto pós-foliação S_n</td></tr>
<tr><td>Ocorrência e distribuição geográfica dos minerais tipomorfos e texturas metamórficas</td><td colspan="3">As zonas metamórficas marcam a distribuição geográfica de certos minerais (minerais tipomorfos) ou texturas em rochas com uma determinada litologia inicial; Ex.: zona da biotite; zona das corneanas; zona dos xistos mosqueados</td></tr>
</table>

2.4. O Trabalho de Campo no ensino da Geologia

A nossa prática lectiva contemplou, desde sempre, o Trabalho de Campo (TC) como componente – essencial – do ensino da Geologia. Por esta razão, é difícil reconhecer que, como afirmam os mais diversos autores (Marques et al., 1996; Praia e Marques, 1997; Moreira et al., 2002), existam justificações para afirmar que o TC tem vindo a ser cada vez menos usado na prática lectiva.

Na procura duma resposta para este aparente contraste – entre a nossa experiência e a realidade investigada pelos referidos autores – verificamos que para além dos obstáculos institucionais e organizacionais, Praia e Marques (1997) e Moreira et al. (2002) indicam, ainda, dificuldades conceptuais e metodológicas dos próprios professores em levarem à prática o TC.

Moreira et al. (2002) acrescentam ao rol de dificuldades, as que decorrem da própria natureza dos fenómenos geológicos e da especificidade epistemológica da Geologia. Estes autores consideram que o TC realizado nas nossas escolas não corresponde às expectativas, já que se limita «(...) a actividades avulso, pouco centralizadas nas práticas lectivas, mal articuladas com os currículos, orientadas pelo *bom senso* e destituídas de fundamentação epistemológica e didáctica (...)».

Assim, a nossa investigação[6], numa fase inicial dos trabalhos, procurou encontrar uma ligação entre esta visão dos referidos autores e a formação de base do corpo docente das escolas localizadas junto dos afloramentos estudados (EB 2,3 de Lavra e EB 2,3 de D. Pedro IV). Apuraram-se os resultados que se reproduzem na Tabela 2.

Tabela 2 – Formação de base do corpo docente dos estabelecimentos de ensino localizados na proximidade da Agudela e de Vila Chã (no grupo de docência responsável pela leccionacção da disciplina de Ciências Naturais).

EB 2,3 Lavra	EB 2,3 D. Pedro IV
3 licenciados em Biologia	1 licenciado em Biologia 1 licenciado em Geologia

Nota – Se fossem considerados os 16 docentes que se encontram a leccionar no 2º CEB, nos referidos estabelecimentos de ensino, nenhum deles possui formação de base em Geologia.

Analisando os dados constantes da Tabela 2, percebe-se o desconforto que a falta de preparação académica e profissional pode gerar. Tal desconforto encontra-se traduzido, com total clareza, em Rebelo e Marques (2000), a propósito de TC realizado por professores: «(...) Há aqui coisas que nem eu sei fazer ... já não sei trabalhar com a bússola; se eu tenho dificuldades em perceber ... como é que os alunos conseguem (...)».

No entanto, a generalidade da investigação garante que a implementação do TC suscita maior interesse dos alunos para a compreensão dos fenómenos naturais (geológicos incluídos)

[6] TC na Agudela e em Vila Chã que incidiu sobre os afloramentos localizados, respectivamente, na proximidade da EB 2,3 de Lavra e da EB 2,3 D. Pedro IV (Mindelo), daí a referência a estes estabelecimentos de ensino.

e alguns autores (Rebelo e Marques, 2000) reconhecem que o objectivo do TC no ensino da Geologia não visa a formação de geólogos mas precisamente auxiliar os alunos a interpretar o meio natural, posto que, como refere Pedrinaci et al. (1994) «(...) não se trata de aprender Geologia de campo mas sim Geologia no campo». Aliás, o geólogo fez desde sempre, do terreno o seu laboratório e do TC a sua principal actividade (Mateus, 2001), produzindo conhecimento sobre a Terra, aquilo que dá à Geologia valor educativo enquanto geociência.

Importará, pois, definir o que é o TC no ensino das ciências, em geral, e da Geologia, em particular. Para Leite (2001) o Trabalho Prático (TP) corresponde ao conceito mais geral pois inclui todas as actividades que requerem que o aluno esteja activamente envolvido[7]. Já o Trabalho Laboratorial (TL) incluirá actividades que envolvem materiais de laboratório (mais ou menos convencionais[8]). Nos casos em que o trabalho a realizar inclua actividades que envolvam controlo e manipulação de variáveis quer laboratoriais, quer de campo ou, ainda, de outro tipo, Leite (2001) considera que se trata de trabalho experimental (TE) – figura 4.

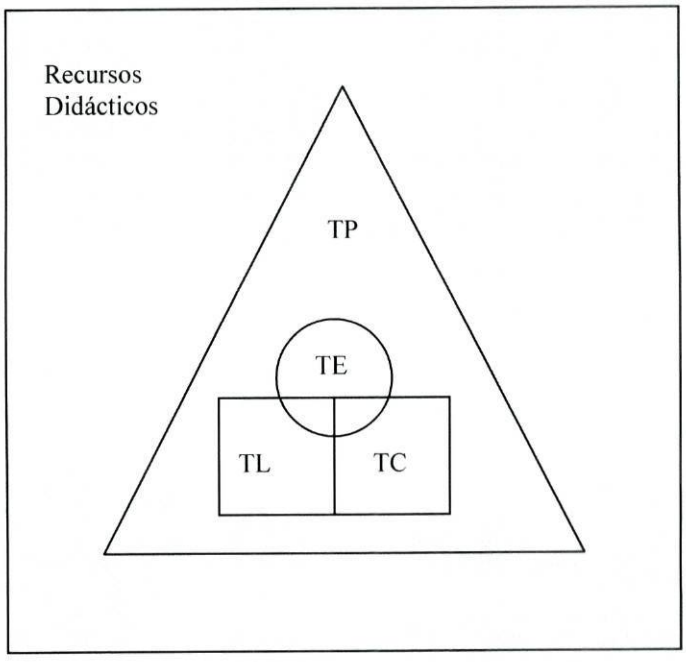


Figura 4 – Relação entre Trabalho Prático (TP), Trabalho Laboratorial (TL), Trabalho Experimental (TE) e Trabalho de Campo (TC) (adaptado de Leite, 2001).

[7] A autora refere que se este envolvimento for interpretado como «(...) podendo ser do tipo psicomotor, cognitivo ou afectivo, o trabalho prático pode incluir actividades laboratoriais, trabalho de campo, actividades de resolução de exercícios ou de problemas de papel e lápis, utilização de um programa informático de simulação, pesquisa de informação na internet (...)».

[8] Citando Pedrinaci, Sequeiros e Garcia (1992), Leite (2001) aduziu a seguinte consideração: «Apesar destes materiais também poderem ser usados nas actividades de campo, as actividades laboratoriais realizam-se num laboratório ou à falta deste (e desde que não haja problemas de segurança) numa sala de aula normal, enquanto

Ainda no âmbito destas reflexões, Dourado (2001) constata que por tradição se associam mais facilmente o TL e o TC às actividades da Biologia e da Geologia[14]; existem, ainda, questões que não podem ser abordadas através de TE na sala, durante as aulas de Biologia ou Geologia.

Perante o exposto, no âmbito deste trabalho, vamos considerar que o TP é um «(...) recurso didáctico à disposição do professor, inclui todas as actividades em que o aluno esteja relativamente envolvido (no domínio psicomotor, cognitivo e afectivo)» (Dourado, 2001) e que o TC (com as características já referidas anteriormente – alíneas a) a f)) é «(...) realizado ao ar livre, onde, geralmente, os acontecimentos ocorrem naturalmente» (op. cit.).

Será conveniente considerarmos, tal como o referido autor, que não se pretende confundir o trabalho realizado pelo geólogo com a actividade que é desenvolvida pelo professor da disciplina científica correspondente, porque, sem existir transferência completa do trabalho daquele para o trabalho deste, existem virtualidades do TL, TE e TC, em contexto educativo, que podem facilitar o processo de ensino-aprendizagem. Aliás, o TC deve ser realizado onde os processos e produtos ocorrem naturalmente e se é nossa pretensão que exista interdependência entre TL e TC, a realização destas actividades, como defende Dourado (2001), deve deixar de ser avulsa e pouco frequente e passar a contemplar trabalhos em locais «(...) não necessariamente sofisticados e longínquos (...)» já que o campo pode estar na proximidade da escola (ou mesmo no seu espaço físico).

É nossa convicção que a planificação de actividades de TC deve ter como ponto de partida actividades de TL e conduzir ao desenvolvimento de actividades de TL, complementares àquele TC. No entanto, se pretendemos que o TC a realizar contemple actividades de resolução de problemas, devemos preparar os nossos alunos para partirem de situações que levantam dificuldades e para as quais não há resposta, implicando-os no processo de descoberta de solução(ões), ou não. Trata-se, como refere Almeida (2001), de um projecto em que cada aluno será envolvido na concepção e desenvolvimento das actividades de TC e não uma tarefa prescrita pelo professor para uma resposta/solução[15].

---

[14] O TC em particular a esta última.

[15] Vão neste sentido as ideias de Rebelo e Marques (2000), quando se referem às linhas gerais de um modelo alternativo para o TC de raiz construtivista: «A saída de campo deve surgir como um momento de aprendizagem de conceitos, ligado a saberes relativos à construção do conhecimento geológico e que decorrem de problematizações a que os alunos tentam dar respostas». Freitas (2001) vai mais longe ao afirmar que, no contexto da Revisão Curricular do Ensino Secundário, no caso particular do ensino secundário português, a área de projecto/projecto tecnológico pode, com recurso ao TP (de laboratório e de campo) de carácter investigativo, revelar-se um instrumento de decisiva importância na reorientação da educação formal, bem como do tecido curricular.

Seguem esta linha de pensamento as ideias de Mateus (2001) quanto ao ensino da Geologia. Para este autor a construção de qualquer percurso coerente e atraente de ensino/aprendizagem em Geologia, deve promover percursos investigativos «(...) orientados em torno de séries encadeadas de pequenos problemas cuja solução passe pela formulação de hipóteses de trabalho e exija a combinação das componentes observacional, descritiva e experimental» (op. cit.). A importância do TC advém do facto de, sem ele, não ser possível:

- definir cabalmente o sistema a estudar;
- caracterizar a sua arquitectura e extensão no espaço e no tempo;
- examinar as suas componentes;
- avaliar as condições de fronteira requeridas pelo seu desenvolvimento/estabilidade.

O referido autor defende que toda e qualquer actividade de ensino de Geologia a nível elementar, deve privilegiar o desenvolvimento de atitudes de problematização sobre os vários processos que se desenrolam nos diversos sistemas terrestres. Tal procedimento permitiria «(...) a compreensão do registo geológico e a aquisição de capacidade de observação/registo de factos, medição *in situ* de parâmetros críticos e/ou de resposta a questões específicas (...)», colocadas aquando do estudo de afloramentos[16].

Como via para atingir um ensino da Geologia que seja expressão das ideias anteriormente enunciadas, Mateus (2001) estabelece um *modus operandi* metodológico para a organização de actividades de ensino de Geologia (com recurso a TC), que se resumem na Tabela 3.

Tabela 3 – Fases do *modus operandi* preconizado por Mateus (2001) – Metodologia de implementação de TC em actividades de ensino da Geologia.

Fases	Descrição
Introduzir globalmente o sistema a estudar	Quais os seus constituintes elementares? Quais os factores que, regra geral, influenciam os processos condicionantes do seu desenvolvimento? Como se manifestam estes últimos? De que forma se processa a interacção entre o sistema em estudo com outros sistemas? Quais os fluxos que se estabelecem entre o sistema em análise e o ambiente?
Seleccionar um exemplo (objecto de estudo directo)	Este exemplo deverá ser representativo da fenomenologia a estudar, explicitando a razão de ser da escolha efectuada
Contextualizar geologicamente o modelo seleccionado	Nesta fase adquire especial relevo a interpretação de cartas geológicas

[16] De maior ou de menor relevância didáctica.

A clarificação destes termos – TP, TL, TC e TE – no contexto do ensino das ciências é feita, também, por Dourado (2001). Verificando-se uma coincidência no critério para distinguir TL de TC[9], este autor refere que o TC é realizado ao ar livre e os processos, na maior parte das vezes, já ocorreram há milhões de anos.

Importará elencar algumas das características que Dourado (2001) entende que individualizam o TL e o TC:

a) são realizados pelos alunos, ainda que com um grau variável de participação no seu desenho e execução;

b) implicam um recurso a procedimentos científicos com características diferentes (observação, formulação de hipóteses, realização de experiências[10], técnicas manipulativas, elaboração de conclusões, etc.) e com diferentes graus de aproximação relativamente ao nível dos alunos;

c) requererem a utilização de materiais específicos, semelhantes aos usados pelos cientistas, ainda que por vezes simplificados para facilitar a sua utilização pelos alunos;

d) decorrerem, com frequência, em espaços diferentes da aula (laboratório, campo), ainda que os trabalhos mais simples possam decorrer na sala de aula;

e) envolverem certos riscos, pois a manipulação de material ou a realização de excursões[11] aumenta o perigo de acidentes, pelo que é necessário adoptar medidas para os reduzir ao mínimo;

f) são mais complexas de organizar[12] do que as actividades habitualmente realizadas, nas quais os alunos se limitam a escutar, ler ou resolver exercícios de papel e lápis.

Este autor vai mais longe, ao fazer algumas reflexões sobre os conceitos de TP, TL, TC e TE: «(...) se TP corresponde a um "território" mais amplo que inclui todos os outros tipos de trabalho, verifica-se que relativamente ao TL, TC e TE, embora existam "territórios" específicos (definidos pelo critério distintivo), estes não são exclusivos. Assim, existem actividades de TL que são TE e outras que o não são; existem actividades de TC que não são TE e outras que o podem ser»[13] (figura 4).

---

que as actividades de campo têm lugar ao ar livre, no local onde os fenómenos acontecem ou os materiais existem».

[9] A matriz é a mesma: Hodson, 1988.

[10] Dourado (2001), citando Leite (2001), é também de opinião que as experiências devem envolver controlo e manipulação de variáveis para serem consideradas TE.

[11] A referência do autor ao termo *excursões* revela a concepção do TC mais difundida na comunidade educativa; o TC não é, nem deve ser entendido como uma excursão.

[12] E de conceber, nomeadamente, se equacionadas como Ensino Por Pesquisa (EPP) de modo a constituir-se oportunidades para que os alunos aprendam a aprender (?) e respondam a questões/problema colocados por eles.

[13] Neste último caso as condições oferecidas pelo local de realização da actividade (campo) dificultam o controlo e manipulação de variáveis.

Fases	Descrição
	(eventualmente complementada por outras cartas temáticas – geofísicas, geoquímicas, pedológicas, etc.) porquanto estas sistematizam de forma ímpar todo o conjunto de informações imprescindíveis ao reconhecimento do registo geológico de uma determinada região
Promover actividades investigativas de campo	Levando os intervenientes ao registo individual (e em caderno próprio para o efeito) das observações e medições por eles realizadas *in situ* (mostrando, por exemplo, a pertinência dos conhecimentos básicos adquiridos na interpretação do que estão a observar e a interpretação dos dados que podem ser obtidos com o auxílio de equipamento auxiliar, como a lupa ou a bússola)
Introduzir e utilizar meios de referência cartográfica	Vulgarmente adequados à referenciação geográfica das observações de terreno (cartas topográficas e fotografias aéreas, em particular)
Fomentar o aparecimento de questões/problemas específicos cuja resposta possa ser obtida através da concretização de tarefas práticas adicionais	Recorrer, por exemplo: a) à recolha e subsequente caracterização de exemplares devidamente referenciados com vista à identificação dos constituintes básicos do objecto em análise; b) à projecção em carta apropriada (introdução do conceito de escala) de elementos colhidos durante o TC; c) à concepção e elaboração de modelos analógicos; d) à realização de actividades experimentais relevantes para a resolução dos problemas levantados.
Discutir os resultados obtidos	Caracterizar os principais componentes do sistema e compreender os processos que condicionam a sua evolução global
Avaliar	O significado/pertinência da análise efectuada à luz das relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade

3. Caracterização da região estudada

3.1. Localização geográfica e geomorfológica

As áreas estudadas, Agudela e Vila Chã, localizam-se, respectivamente, na Folha nº 109 – Lavra (Série M – 888 – Edição 3 – IGE – 1997) e na Folha nº 96 – Vila do Conde (Série M – 888 – Edição 3 – IGE – 1997), da Carta Militar de Portugal, na escala 1:25000, do Instituto Cartográfico do Exército.

No respeitante à cartografia geológica a Agudela faz parte da região cartografada na Folha 9-C (Porto), da Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:50000, enquanto que a Vila Chã se encontra cartografada na Folha 9-A (Póvoa de Varzim) à mesma escala.

Os dois locais onde realizamos TC (Agudela e Vila Chã) são parte do litoral de Portugal continental que se insere no sector compreendido entre Caminha e Espinho, que Araújo e Alberti (1999) dizem coincidente com a área em que a linha de costa se desenvolve sobre rochas do Maciço Hespérico – de constituição granítica ou metamórfica. Para estes autores, este facto tem uma grande responsabilidade na fisionomia da área, uma vez que, com excepção das embocaduras dos rios, o substrato hercínico está sempre presente, mesmo quando mascarado pela cobertura de areias de praia ou de duna[17].

Agudela e Vila Chã, por se localizarem no litoral Norte do nosso país, mais precisamente em parte do sector compreendido entre Caminha e Espinho, relativamente ao qual O. Ribeiro et al. (1998) entendem que «(...) pertence ao tipo das costas de levantamento, vindo o mar bater de encontro a uma linha direita, estável, onde faltam quaisquer vestígios de ingressão». Na figura 5 procedeu-se à localização das regiões estudadas – Agudela e Vila Chã – sobre o mapa dos referidos autores.

Na descrição da geomorfologia da área cartografada na Folha 9-C (Porto), Carríngton da Costa e Teixeira (1957), já referem que se trata de extensa área aplanada que «(...) observada do Monte da Virgem, miradouro excelente que domina vasto horizonte, a região do Porto aparece como larga plataforma que se estende muito para Norte e desce suavemente para o mar. Na realidade, o que existe é uma série de superfícies dispostas em escadaria voltada a ocidente».

[17] É devido a este substrato que os problemas de erosão costeira são menos graves do que aqueles que afectam regiões mais a Sul, nomeadamente, entre Espinho e a Serra da Boa Viagem, porquanto assentam em formações mais recentes e menos consolidadas.

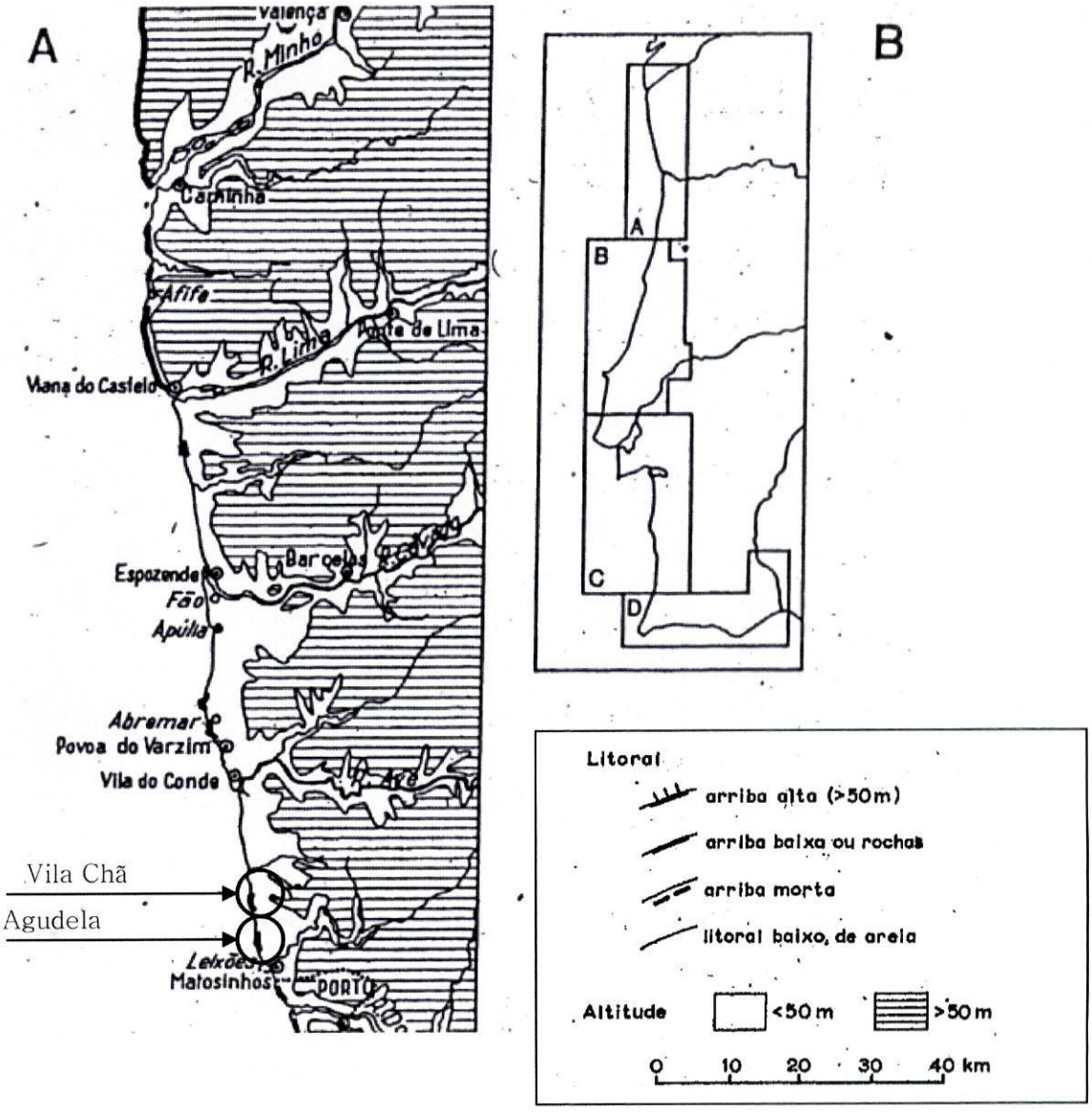


Figura 5 – Adaptação da figura 5 de O. Ribeiro et al. (1998), destacando a localização – no litoral Norte de Portugal – das zonas de costa rochosa da Aguela e da Vila Chã.

Teixeira e Medeiros (1965) apresentam a geomorfologia da região abrangida pela Folha 9-A (Póvoa de Varzim) de forma que não difere grandemente da do território portuense, afirmando mesmo que «(...) é a continuação natural, para Norte».

Ao descreverem a região litoral – a que nos interessa no âmbito deste trabalho – os referidos autores apresentam-na como uma extensa superfície de abrasão marinha, coberta ainda em alguns pontos por depósitos de praias antigas[18], superfície que desce gradualmente para o mar.

[18] Araújo e Alberti (1999) citando Araújo (1991) esclarecem que durante muito tempo a plataforma litoral foi interpretada como um testemunho passivo das variações eustáticas, que teriam originado uma escadaria de

Na caracterização geral[19] do litoral entre Espinho e Caminha, Araújo e Alberti (1999) colocam como um traço comum de quase todo o litoral português, a existência de uma faixa aplanada, designada "plataforma litoral" de altitudes variadas[20]. Estes autores, ao estabelecerem a tipologia deste sector da costa portuguesa – por análise das cartas geológicas na escala 1:50000 – avaliaram em 23% a área do *bed-rock* que contacta directamente com o mar. A percentagem dos sectores arenosos atinge os 52%, na região litoral referida. Compreensivelmente, é aqui que se desenvolvem dunas de maior dimensão onde, para além da duna primária existem dunas[21] fixadas pela vegetação (onde se chega a desenvolver vegetação arbórea, pinhal, na maior parte dos casos). Os locais onde as areias de praia e afloramentos do *bed-rock* coexistem, foram introduzidos numa categoria independente, onde o *bed-rock* pode aflorar constituindo arribas baixas (praia de Lavadores, da Foz do Douro e de Labruge) ou "rochedos" que emergem das areias de praia ou se elevam acima do nível médio das águas do mar (de que são exemplo, entre outros, Agudela e Vila Chã). A sua representatividade – de acordo com Araújo e Alberti (1999) – ronda os 25% do total.

As praias arenosas, estando assentes sobre rochas, podem, por erosão, fazer aflorar as formações graníticas e/ou metamórficas do Maciço Hespérico. Desaparecendo a cobertura arenosa, o sector do litoral passará a entrar na designação de "praia com rochedos"; é esta designação que vamos considerar adequada para as regiões estudadas, sem perder de vista que, entre Vila Chã e Espinho, os afloramentos rochosos marcam presença quase contínua. A sua visibilidade ocorre, pelo menos, ao nível da maré baixa. Na dependência destes fundos rochosos está a riqueza biológica que assegura uma actividade piscatória residual (em complemento da actividade agrícola), que na Vila Chã se mantém na actualidade.

Araújo e Alberti (1999) consideram que o carácter rochoso destas praias – situadas entre Vila Chã e Salgueiros[22] - se deve ao *deficit* de sedimentação, relacionado com um provável soerguimento tectónico, aparecendo as dunas apenas na proximidade das embocaduras de certos rios[23]. A dinâmica costeira está dependente dos ventos dominantes no litoral que são de

---

"níveis", designados por critérios altimétricos. O rebordo que limita a plataforma litoral seria, logicamente, uma arriba fóssil. Todavia, um estudo detalhado dos depósitos desta plataforma (da região do Porto) veio provar que muitos deles têm características fluviais, sendo que os depósitos marinhos são relativamente raros e limitam-se a ocupar a parte exterior da plataforma (desenvolvendo-se a altitudes inferiores a 40 metros).

[19] Informação também disponível em www.letras.up.pt/geograf/seminario/aula6.htm (consulta em 29/07/2003).

[20] Esta plataforma está limitada, para o interior, por um rebordo que, na maior parte das vezes, se desenvolve em contraste nítido com a área aplanada.

[21] Como, por exemplo, nos casos da Aguda e de Esposende (neste último caso englobadas na Área Protegida do Litoral de Esposende).

[22] Uma relativa falta de acessos e uma actividade agrícola ainda viva tem contribuído para proteger (?), até agora, a porção de litoral rochoso de Sampaio (Labruge).

[23] Casos do rio Leça que desagua em Matosinhos e do rio Onda que desagua entre Angeiras e Labruge.

NW – direcção que se torna quase exclusiva nos meses de Verão[24]. Associada e dependente destes ventos encontra-se a deriva litoral que se dirige para Sul[25]. No entanto, o aporte de areias pelas correntes marítimas tem vindo a diminuir, em parte devido às barragens construídas nos rios que desaguam nesse troço do litoral, potenciadoras da acumulação de sedimentos a montante, impedindo a sua chegada à foz.

3.2. Enquadramento estrutural e geotectónico

As grandes regiões estruturais de Portugal manifestam a influência da matriz geológica, sendo evidente o papel da litologia no desenvolvimento da referida estrutura. Cerca de 70% da superfície do nosso país corresponde ao Maciço Hespérico[26] (termo geomorfológico). Este extenso afloramento (figura 6) de rochas de idade proterozóica e/ou paleozóica que formam parte da ossatura central e ocidental da península ibérica (Chaminé, 2000), trata-se de um conjunto constituído por rochas sedimentares, ígneas e metamórficas, consolidadas sobretudo aquando dos processos orogénicos variscos[27]. Este Maciço ocupa, como se disse, a parte ocidental e central da península ibérica. As unidades morfoestruturais mais recentes bordejam ou sobrepõem-se a este soco varisco. Devido ao facto de ter sido dobrado e metamorfizado (muitas vezes com fenómenos de granitização associados) durante a orogenia Varisca, o Maciço Ibérico tornou-se um núcleo resistente ao dobramento alpino.

---

[24] A vulgar "nortada".

[25] Araújo e Alberti (1999) relembram que durante o Inverno, aquando da passagem dos sectores quentes das depressões da frente polar, os ventos de SW podem ter bastante importância, até porque têm, geralmente, velocidades elevadas, o que pode implicar uma deriva ocasional para Norte.

[26] No Maciço Hespérico ou Ibérico, Chaminé (2000) citando Quesada (1992) refere a diferenciação das seguintes unidades morfoestruturais: «i) bacias sedimentares (Douro, Tejo, Baixo Tejo e Sado, Ebro e Guadalquivir); ii) orlas (ocidental e meridional) e cadeias moderadamente deformadas (Ibérica e Catalã); iii) cadeias alpinas (Bética, Cantábrica e Pirenéus); iv) soco varisco e/ou ante-varisco (Cordilheira Central).

[27] Estes processos orogénicos «(...) são responsáveis pelas orientações de conjunto e pela promoção de extensos fenómenos de granitização com o decorrente metamorfismo» (http://www.letras.up.pt/geograf/geofis/t1.html - sítio visitado em 16/05/2002).

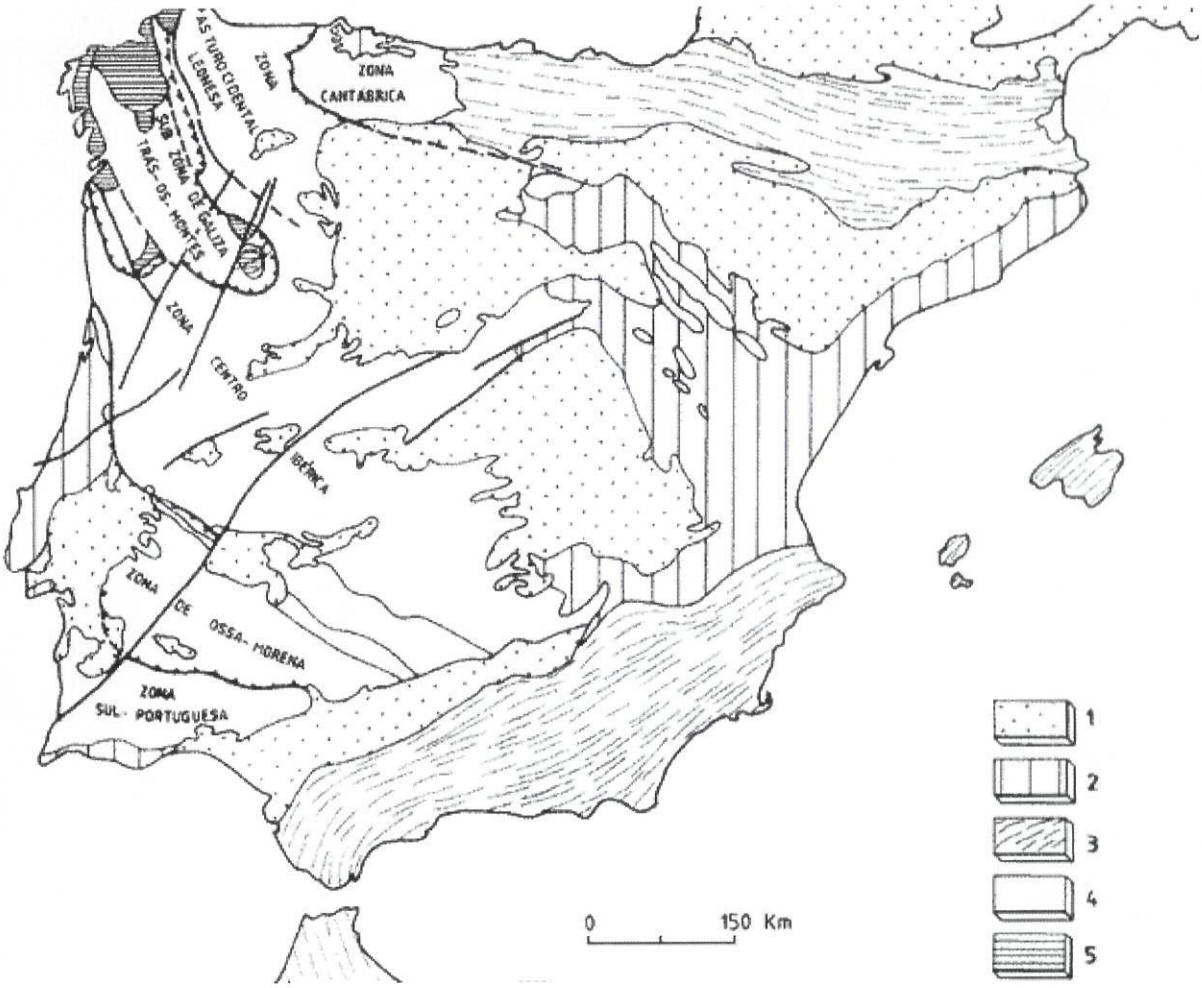


Figura 6 – Zonas paleogeográficas da península ibérica (Julivert et al., 1972, modificado por Pereira, 1988, em Pereira e Meireles, 1998). Unidades geotectónicas (legenda): 1 – Bacias continentais; 2 – Orlas Meso-Cenozóicas; 3 – Cadeia Alpina; 4 – Maciço Hespérico; 5 – Unidades Alóctones.

3.2.1. A orogenia Varisca (ou Hercínica)

De acordo com Pereira e Meireles (1998) a colisão Varisca, no sector NW da península ibérica, tem lugar a partir do Devónico (ver figura 14, na página 61). Chaminé (2000) adopta a definição de Quesada (1992) para esta orogenia, considerando-a: «(...) como o conjunto de processos de natureza dinâmica mediante os quais se produziu a amalgamação dos diversos terrenos anteriormente enumerados como resultado de um processo longo e complexo de convergência, que inclui etapas iniciais de subducção de crusta oceânica (e eventualmente obducção) e culmina com a colisão dos diferentes blocos continentais».

Já Pereira e Meireles (1998) referem, inequivocamente, que «(...) a obducção do Complexo ofiolítico, proveniente do oceano do Maciço Central (...)» (figura 7) «(...) e, bem

assim, a instalação dos mantos de carreamento da Galiza e Trás-os-Montes, obedecem a mecanismos correlativos do avanço da orogenia neste sector». Para estes autores, as sucessivas etapas são marcadas pelas sequências "flyschoides"[28] depositadas na frente dos mantos. É seu entendimento que estas sequências, da região NE do Porto até à região de Bragança, mostram diacronismo entre o Devónico inferior e o Devónico superior – Carbonífero. No entanto, referem, também, que «(...) se considerarmos a migração da onda orogénica até à Zona Cantábrica, a principal fase de deformação apenas se atinge no Carbonífero médio a superior (...)» (op. cit.).



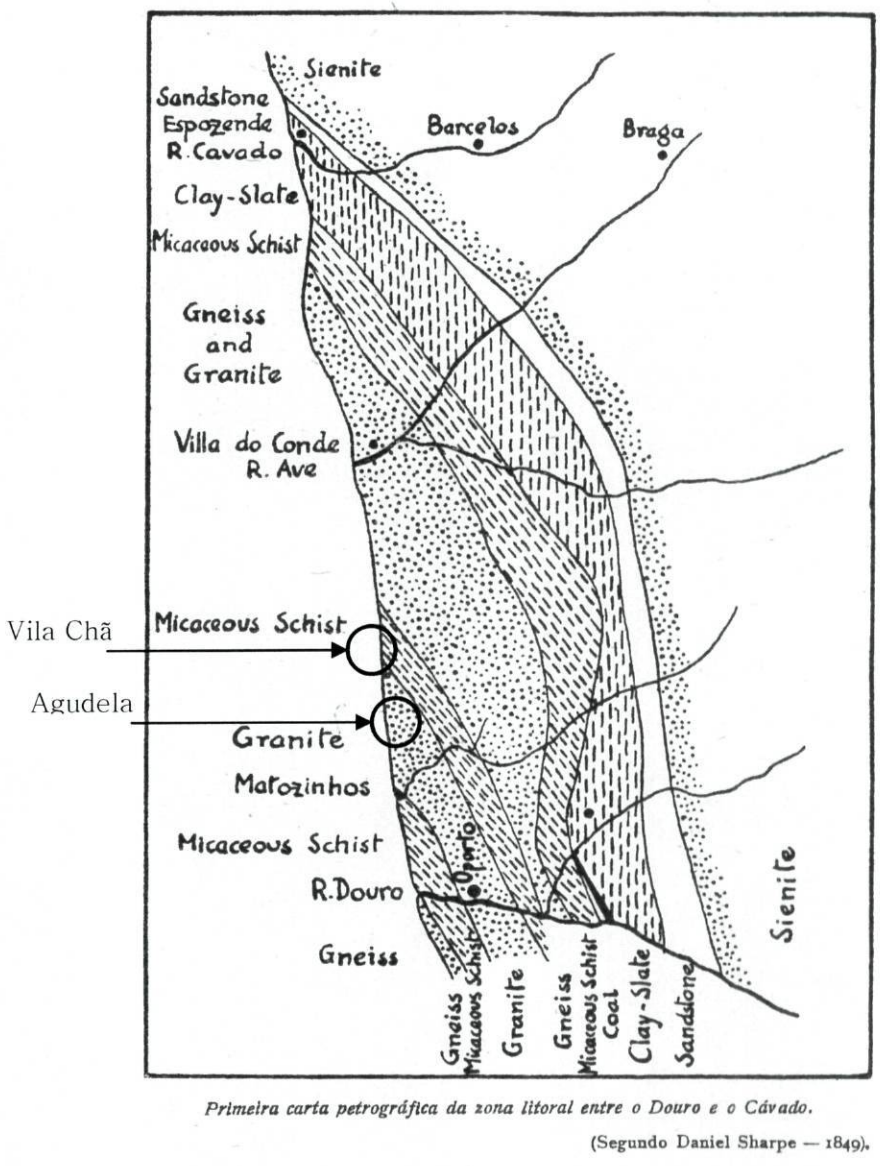
Figura 7 – Estruturas que definem o arco Ibero-Armoricano (Pereira e Meireles, 1998). Legenda: 1 – Cavalgamennto; 2 – Maciços ultramáfico-máficos, às vezes, com ofiolito; 3 – Vergência das estruturas; 4 – Cisalhamento transcorrente.

[28] De *flysch*, termo originado na Suíça, aplicado inicialmente aos sedimentos alpinos, posteriormente usado, por analogia, para os hercínicos portugueses, por exemplo.

De acordo com Pereira e Meireles (1998), as idades das diferentes fases de deformação estão balizadas não só por critérios estratigráficos, mas também por datações isotópicas do metamorfismo e instalação dos granitóides (deformados ou não por essas fases), sendo que «(...) as idades de D1 e D2 têm sido estimadas (figura 14, página 61), respectivamente, de 390 M.a. e 345 M.a., isto é, do Devónico médio ao Carbonífero inferior» (op. cit.).

3.3. Caracterização geológica e especificidades litológicas

O primeiro estudo geológico da região do grande Porto foi realizado em 1833. Carríngton da Costa (1938) faz referência a este estudo realizado por Eschwege, chamando a atenção para o facto de ter sido realizado com a intenção de desccrever a região carbonífera de S. Pedro da Cova. Em 1834 e 1849, Daniel Sharpe, no âmbito de estudos paleontológicos, realizou uma descrição petrográfica desta região, acompanhada de cortes geológicos. É um desses cortes geológicos que se reproduz na figura 8.



Primeira carta petrográfica da zona litoral entre o Douro e o Cávado.

(Segundo Daniel Sharpe — 1849).

Figura 8 – Primeira carta petrográfica da zona litoral entre o Douro e o Cávado, retirada de Carríngton da Costa (1938), da autoria de Daniel Sharpe que a apresentou à Sociedade Geológica de Londres como parte integrante do seu trabalho sobre a geologia da vizinhança do Porto.

Trazer à colação estes elementos tem importância, na medida em que nos permite não só acompanhar a evolução[29] ocorrida na própria cartografia geológica (da região) mas também porque nos faculta a possibilidade de ajudar os nossos alunos a manusear e interpretar um registo gráfico inscrito num plano que, objectivamente, ao longo dos tempos se tornou mais complexo, muito por via do aumento da informação nele contida.

Neste sentido, observada a Folha 9-C da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50000, somos confrontados com uma distribuição espacial das formações rochosas, segundo uma orientação semelhante à do mapa da figura 8, isto é, formações rochosas de diferente natureza (metamórfica e magmática) cujos contactos se alinham de acordo com uma direcção NW-SE[30]. Para além da informação contida na legenda da referida carta, encontramos na notícia explicativa – Carríngton da Costa e Teixeira (1957) – uma breve descrição das rochas de Angeiras[31], com indicação de que a cartografia destas rochas é particularmente difícil, em virtude da passagem gradual de umas para as outras. Estes autores salientam que nas «(...) zonas de contacto com o granito, originaram-se estruturas migmatíticas (...)» como as que se observam na praia de Angeiras.

3.4. Tipos de rochas aflorantes nos locais estudados

A cartografia geológica debitada na Folha 1 da Carta Geológica de Portugal, na escala de 1/200000, a qual tem por base os estudos de Pereira et al. (1992), descreve petrograficamente, na secção dedicada aos granitóides, cada uma das fácies encontradas, relativas a estas rochas. Neste contexto e incluídas no conjunto dos granitóides ante e/ou sin-tectónicos relativamente a F_1[32], estão os **granitos** identificados como γ_1[33]. De acordo com os referidos autores o granito da Praia do Mareco possui textura gnáissica evidente em amostra de mão, sendo que «(...) quando examinados em lâmina delgada mostram uma textura gnaissica acompanhada ou não de deformação geralmente evidente no quartzo, constituinte que por vezes atinge percentagem notória (...)» (op. cit.). Relativamente à composição

[29] «A narração geral da história dos documentos cartográficos encerra em si mesma um grande valor cultural, já que retrata de forma magistral a evolução dos conceitos do Homem sobre o Planeta Terra e, consequentemente, a diacronia da mentalidade humana» (Mateus, 2002).
[30] Mais evidente na Folha 9-A, da Carta Geológica de Portugal (escala 1:50000).
[31] Angeiras é uma localidade piscatória e balnear situada a Norte da Agudela e a Sul da Vila Chã.
[32] Ver ponto 4.4.1. (pequena descrição das fases da Orogenia Hercínica).
[33] De acordo com Pereira et al. (1992) γ_1 representa «Granito gnaissico, às vezes com blastese de albite (gnaisse ocelado da Foz do Douro, Leça da Palmeira e Praia do Mareco) e Granito gnaissico granatífero de Fânzeres». A Praia do Mareco localiza-se imediatamente a Sul da Praia da Agudela.

mineralógica afirmam ser a de um granito de duas micas, podendo dominar a moscovite e, associados à biotite (como minerais acessórios), surgem, também, andaluzite, cordierite, silimanite, apatite e grãos de minerais opacos. Para Pereira et al. (1992) «o feldspato potássico, microclina, é em geral pertítico, correspondendo a plagioclase a albite (...)», sendo que a mirmequite ocorre no contacto dos dois feldspatos. Um outro aspecto observável nesta rocha é a alteração clorítica na biotite.

Quanto à mineralogia e à estrutura os mesmos autores referem, sobre as **rochas migmatíticas** de Angeiras – idênticas às observadas em Vila Chã – que entre elas há «(...) gneisses com silimanite e cordierite, em que é patente a alternância de leitos de origem eruptiva, com outros de origem sedimentar. Os primeiros, pobres de micas, são ricos de quartzo e feldspatos (oligoclase, alguma mirmequite); contêm, todavia, biotite e moscovite, assim como raros cristais de zircão, apatite e magnetite. Os segundos pobres de quartzo e de feldspatos, mostram moscovite, biotite, silimanite (fibrolite), cordierite, zircão, apatite e rara magnetite». Destes estudos, atribuídos pelos autores ao Prof. Torre de Assunção, resulta, ainda, uma apreciação das rochas migmatíticas – idênticas às observadas no TC realizado em Vila Chã – a qual conduz à seguinte descrição: «Estas rochas migmatíticas envolvem núcleos escuros, com fácies de corneana, formados (...) por plagioclase do tipo andesina-labrador e labrador, biotite, quartzo e, ainda, magnetite, apatite e talvez granada».

Em 1965, Teixeira e Medeiros, na continuação dos estudos efectuados aquando da elaboração da Folha 9-C (Porto), voltaram a fazer referência (aqui no âmbito dos trabalhos que conduziram à notícia explicativa da Folha 9-A, Póvoa do Varzim) ao "Complexo xisto-granito-migmatítico", onde descrevem a região litoral situada a Sul do rio Ave – localização da Vila Chã – como sendo o prolongamento das rochas migmatíticas de Lavra[34] e Angeiras.

É na orla litoral, entre Vila Chã e Mindelo, que os referidos autores depositam a sua atenção a propósito das rochas migmatíticas. Importa registar as suas palavras, as quais, denunciam indisfarçável fervor: «O leito rochoso destas praias é formado essencialmente por gneisses migmatíticos, silimaníticos, em que os leitos micáceos, alternantes com outros mais claros, quartzo-feldspáticos, se mostram caprichosamente ondulados. As numerosas dobras ptigmáticas dão ao conjunto aspectos extraordinàriamente belos».

A riqueza destas estruturas, quase todas observáveis em quaisquer condições de maré (excepto tempestade), é descrita eloquentemente por Teixeira e Medeiros (1965),

[34] A zona da Agudela situa-se no limite Sul desta referência dos autores. A referência a Lavra (freguesia) deve ter por objecto as formações rochosas da actual praia das Pedras do Corgo (também visitada no âmbito deste trabalho, com a finalidade de se obter uma visão global deste sector da faixa litoral).

nomeadamente, no que diz respeito aos "encraves" existentes nestas rochas de Vila Chã; segundo estes autores «Os gnaisses envolvem núcleos de forma ovóide, escuros, de tamanhos diversos, às vezes muito numerosos. Alguns destes núcleos atingem mais de 0,50 m de comprimento. São cortados, além disso, por muitos veios graníticos, pegmatíticos ou aplito-pegmatíticos, frequentemente bastante espessos». Estas referências voltam a ser feitas por Teixeira (1970) quando descreve a faixa a Norte do Castelo do Queijo. Nestas descrições afirma que para Norte do porto de Leixões prossegue a faixa granítica, em que a rocha se mostra frequentemente orientada (como na Agudela) e toma o aspecto gnáissico. Ainda mais a Norte, encontram-se as praias de Angeiras e Vila Chã, em que os gneisses migmatíticos são formados por leitos micáceos alternantes com leitos quartzo-oligoclásicos que envolvem núcleos de natureza quartzo-diorítica e anfibolítica[35].

No respeitante à composição mineralógica destas rochas – aquelas que observamos em Vila Chã – dizem Teixeira e Medeiros (1965) que os «(...) leitos micáceos dos gnaisses (paleossoma) contêm biotite, moscovite, silimanite (fibrolite) e alguma cordierite; como elementos subordinados existem quartzo, feldspatos, óxidos de ferro, zircão e provàvelmente monazite. Nos leitos claros (metassoma) os elementos essenciais são apenas quartzo e grandes cristais de oligoclase; como acessórios há moscovite, biotite, algum feldspato potássico ou potássico-sódico, bela mirmequite, apatite e óxido de ferro. Observam-se manifestações metassomáticas («gotas» de quartzo no interior do feldspato, etc.)».

Estes autores afirmam que os núcleos escuros são de vários tipos: uns são formados por uma rocha de grão muito fino, constituída por quartzo, biotite, agregados de epídoto e clorite, óxidos de ferro, raros grãos de granada, plagioclase relativamente cálcica[36]; outros patenteiam composição mais complexa incluindo, para além dos minerais referidos, horneblenda verde pálida, de contorno muito irregular, acompanhada por grãos de esfena.

Na mais recente cartografia da região em apreço (Folha 1, na escala 1/200000), Pereira et al. (1992) identifica como Micaxistos, Gnaisses e Migmatitos as litologias existentes na

---

[35] Importa não deixar de referir uma das conclusões sobre as rochas então designadas gnáissico-migmatíticas do conjunto intitulado "granito do Porto": «Este é um granito gnássico às vezes de aspecto ocelado, de tipo alcalino, que se formou, provàvelmente, entre o final do Precâmbrico e o Câmbrico superior. A granitização que o originou teve acção importante sobre as rochas xistentas antes mencionadas, originando-se larga orla de migmatitos, como os que se observam em Lavadores-Salgueiros, na Foz do Douro e, em especial, em Angeiras e Vila Chã» (Teixeira, 1970).
A explicação para os nódulos ou encraves existentes na rocha, surge, também, nestas conclusões: «No meio de gnaisses ficaram, frequentemente, núcleos de rochas do complexo xistento sobretudo dos mais resistentes à assimilação, como os anfibolitos. Originaram-se, assim, por enrosariamento («boudinage»), corpos nodulares, ovóides, elipsoidais ou fusiformes, com aspecto de corneanas, às vezes de dimensões consideráveis, muito numerosos nos migmatitos de Angeiras e Vila Chã. São da mesma origem os encraves da zona da praia da Luz, na Foz do Douro, e de Lavadores».

[36] Daí os fenómenos de dissolução observáveis em encraves/nódulos com erosão diferencial.

localidade de Vila Chã. Na notícia explicativa, o mesmo autor, designa como Complexo Xisto Grauváquico (CXG) indiferenciado (Do) os terrenos referidos.

E, tal como já destacamos, quando referimos as cartografias levadas a cabo por Carríngton da Costa e Teixeira (1957) e Teixeira e Medeiros (1965), esta cartografia denuncia, para a zona Oeste do Sulco do Douro, o alinhamento do CXG segundo faixas subparalelas com metamorfismo crescente, «(...) respectivamente, zona da biotite, zona da andaluzite, zona da estaurolite (distena) e zona do feldspato potássico que domina a faixa litoral entre Angeiras e Mindelo» (Pereira et al., 1992). A região de Vila Chã, nomeadamente a faixa costeira sobre a qual incidiu o nosso TC, localiza-se nesta última faixa.

Em síntese:

- na Agudela identificam-se, constituindo as rochas mais abundantes, o granito de duas micas de grão fino e o granito de duas micas de grão grosseiro; no entanto, também é possível encontrar granito de duas micas, essencialmente biotítico, de grão médio, bem como migmatitos e pegmatitos, estes últimos associados a aplitos;
- em Vila Chã afloram rochas como migmatitos, aplitos, pegmatitos e aplito-pegmatitos (constituindo as litologias mais abundantes), em associação com granitos[37] (de duas micas, essencialmente moscovítico, de grão fino, ou de duas micas, predominantemente biotítico, de grão fino a muito fino, ou de duas micas, de grão grosseiro), gnaisse e tectonito (milonito) – esta última litologia de reduzida expressão em termos de área exposta; no seio dos migmatitos regista-se a presença de elevado número de encraves de corneana calcossilicatada.

[37] Cuja apresentação espacial reveste, muitas vezes, a forma de filões, a exemplo do que sucede com os pegmatitos.

4. As rochas metamórficas e a migmatização – enquadramento teórico

O conjunto de litologias a que se reporta a designação *rochas metamórficas* é bastante vasto e nem sempre objecto de uniformidade de utilização da terminologia existente para designar "espécies" ou "variedades litológicas" – mormente quando se tenta comparar designações oriundas de diferentes países. Numa tentativa de sistematização da nomenclatura relativa às rochas metamórficas, foi criado um grupo de trabalho com o objectivo de definir regras de nomenclatura e conceitos, suficientemente explícitos, coerentes e representativos das mais variadas sensibilidades e escolas.

Assim, em resultado dos trabalhos da Subcomissão para a Sistemática das Rochas Metamórficas (SCMR) da União Internacional das Ciências Geológicas (IUGS) foram produzidas propostas[38] por vários grupos de trabalho, as quais se constituem como um conjunto de regras – princípios de nomenclatura – capaz de conduzir a designações que sejam compreensíveis internacionalmente. Os trabalhos dos diferentes autores ainda não se encontram, definitivamente, homologados a nível mundial, mas representam um esforço no sentido da adopção de uma terminologia que seja tanto consensual como representativa das rochas metamórficas, relegando para segundo plano designações de carácter regional.

Os termos a que a SCMR chegou encontram-se em Inglês, o mesmo acontecendo relativamente a todas as recomendações e definições[39].

4.1. Princípios de nomenclatura

O esquema de nomenclatura consiste na definição de termos e de regras de uso desses termos. Para chegar a tal esquema a SCMR usou os seguintes princípios:

a) o esquema tem de proporcionar um conjunto consistente de nomes para cobrir todo o tipo de rochas e suas características, sem que surjam lacunas de terminologia;

b) o esquema tem de assegurar que todos os utilizadores aplicam os mesmos critérios para identificar com o mesmo nome uma rocha e as suas carcterísticas; tais nomes devem ser percebidos de forma única e sem ambiguidade.

A terminologia simples e compreensiva para a generalidade das rochas metamórficas, baseia-se na sua divisão em três grupos maiores, com base na sua estrutura (observável em amostra de mão), a saber: xisto, gneisse e rocha granular (*granofels*).

---

[38] Esta SCMR é um ramo da Comissão para a Sistemática na Petrologia da IUGS. Começou a operar em 1985 com 33 membros, distribuídos por 11 grupos de trabalho direccionados para tópicos específicos, constituintes de um grupo de trabalho mais vasto de 100 especialistas em Ciências da Terra espalhados por todo o globo.

[39] Prevê-se a transposição para outras línguas no futuro.

Foi a partir das seguintes características principais das rochas metamórficas que se estabeleceram as bases da classificação:

(a) os minerais presentes;

(b) a estrutura e a textura da rocha;

(c) a natureza da rocha anterior ao metamorfismo – o protólito;

(d) as condições do metamorfismo (com recurso aos termos pressão e temperatura, bem como com referência à existência ou não de deformação);

(e) a composição química das rochas.

Das características referidas, assumem maior importância como parâmetros de identificação para uma classificação da rocha a mineralogia (a) e a estrutura (b)[40] e poderão ser usados indirectamente quando as características usadas forem as (c) e (d). É convicção de Schmid et al. (2002) que as bases de qualquer nomenclatura, hoje como no passado, são as características observáveis directamente, isto é, a mineralogia e a estrutura. Por isso, os especialistas em petrologia metamórfica sempre se socorreram de nomes como xisto quartzo-micáceo que, por serem compostos, aglutinam na sua formulação características estruturais e mineralógicas, assim como referências ao protólito[41].

[40] Estas são, também, no TC aquelas características a que deve ser dada maior atenção, posto que, quer através da lupa, quer através da observação *in situ* se podem identificar com maior ou menor facilidade e são aspectos factuais objectivos.

[41] Esta formulação de nomes que aglutinam características estruturais, mineralógicas e com referência ao protólito produz, na linguagem anglo-saxónica, designações como, respectivamente, "garnet-mica schist", "garnet-biotite amphibolite" ou "garnet-pyroxene metabasite".

4.2. Rochas metamórficas

Na tentativa de sistematização da nomenclatura das rochas metamórficas, a SCMR encontrou termos para o metamorfismo e para estas rochas, baseados em critérios mineralógicos e/ou estruturais (e, por vezes, em critérios químicos ou genéticos), tendo-os designado por nomes específicos[42]. Estes nomes, apesar de encerrarem em si conotações particulares, não são o resultado de um processo sistemático que consiga abarcar designações para todo o tipo de rochas metamórficas[43]. Utilizados um pouco por todo o lado, vejamos alguns exemplos destes nomes específicos: anfibolito (para rochas constituídas por anfíbola e plagioclase), quartzito (para aquelas onde o quartzo surge em grande quantidade); mármore (quando predominam os carbonatos); ardósia (para uma rocha com fissilidade e clivagem bem desenvolvidas). Mais uma vez se verifica que num termo como anfibolito, se coloca o destaque na mineralogia e num termo como ardósia, na estrutura. Já no que respeita ao quartzito e ao mármore, a relevância é dada à composição mineralógica; no entanto, poder-se-á dizer que estas rochas possuem estruturas equigranulares ou corneanas.

A SCMR procurou, na sistematização da nomenclatura das rochas metamórficas, dar relevo aos termos específicos e integrá-los no esquema de nomenclatura com vista à produção duma lista definitiva de nomes. Chama a atenção para o facto de, no caso dos nomes das rochas metamórficas baseados nos protólitos[44], o seu uso continuar a ser útil, por duas razões:
a) por que a determinação da natureza original da rocha é, frequentemente, fundamental para o estabelecimento da história geológica;
b) por que em rochas com fraco metamorfismo e, particularmente, nas que sofreram pouca deformação, as características estruturais e mineralógicas dos protólitos podem ser os aspectos observáveis.

No entanto, em muitas situações, o nome do protólito não reflecte quais os minerais principais, nem quais as características estruturais das rochas observadas – estas acabam por constituir uma base para uma terminologia que se pretende abrangente e descritiva.

---

[42] "Specific names" no original (Schmid et al., 2002). A maioria destes nomes específicos pode ser subdividida em grupos individualizados da nomenclatura tradicional da petrologia metamórfica (metamorfismo de alta pressão, impactitos, rochas associadas a falhas e cisalhamento, migmatitos, rochas carbonatadas, etc.). A estes grupos a SCMR chamou "specific name sets". Muitos destes nomes possuem uma conotação associada ao contexto ou à génese da rocha (ultramilonito, anatexito, skarn, etc.), podendo proporcionar detalhes ou informação adicional às características da rocha (ibid.).
[43] Os autores exceptuam o caso da classificação das fácies de metamorfismo que consideram, no entanto, não ser apropriada para uma nomenclatura básica e descritiva das rochas.
[44] Rocha existente antes da actuação do metamorfismo.

4.2.1. Uma proposta de nomenclatura

As dificuldades encontradas pela SCMR levaram à necessidade de adopção de um procedimento normalizado, através do qual se estabelecem nomes compostos separados por um hifen; desta forma, existirá suficiente flexibilidade na designação, mas o termo base[45] (do nome composto) resultaria da aplicação de diferentes critérios. Para a SCMR a normalização deve basear-se em designações estruturais, decorrentes da mesostrutura ou da estrutura em amostra de mão.

Perseguindo este propósito (Schmid et al., 2002) recorreram aos já referidos nomes[46]: xisto, gneisse e rocha granular. Estes nomes base reflectem o grau de fissilidade (ou xistosidade) patenteado pela rocha. Desta forma, quando uma rocha metamórfica possui foliação bem desenvolvida, diz-se que possui estrutura xistenta e designa-se xisto; se a rocha apresenta diferenciação mineralógica com foliação pouco marcada, trata-se de uma estrutura gnaíssica e chama-se gneisse; se a foliação se encontra ausente, a rocha é granular e designa-se rocha granular[47].

A SCMR, paralelamente ao estabelecimento de uma nomenclatura compreensível para as rochas metamórficas, com recurso a um sistema de nomes base, examinou as designações usadas correntemente na petrologia metamórfica, tendo reunido esses trabalhos no esquema da figura 9.

[45] "Root term" no original (Schmid et al., 2002).
[46] Estes termos devem possuir, apenas, uma conotação estrutural.
[47] Estes nomes, enquanto nomes base da nomenclatura proposta por Schmid et al. para a SCMR, vão designar várias rochas com xistosidade tais como ardósia ou filito. No caso das rochas granulares, a situação vai abranger as corneanas.

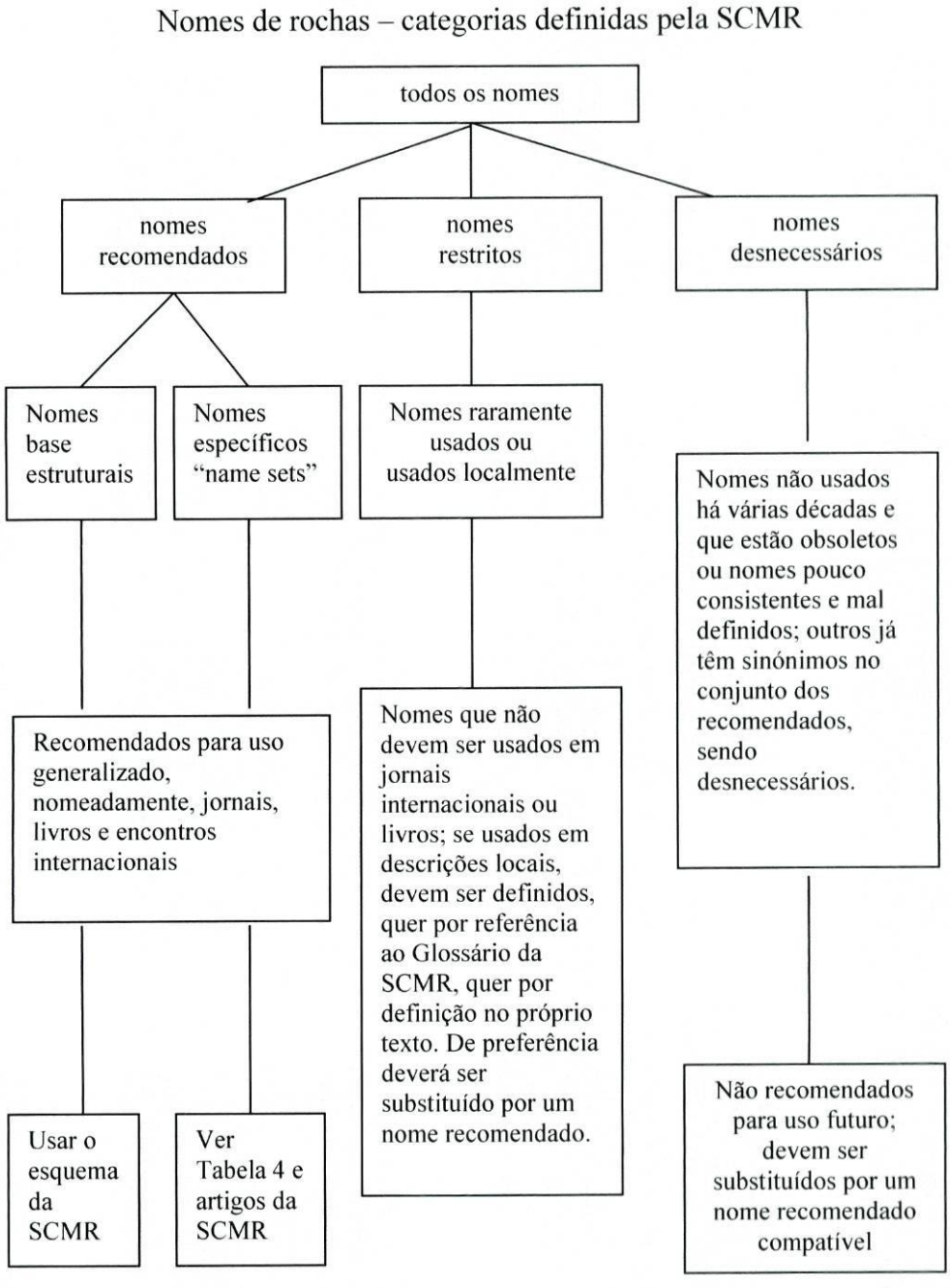


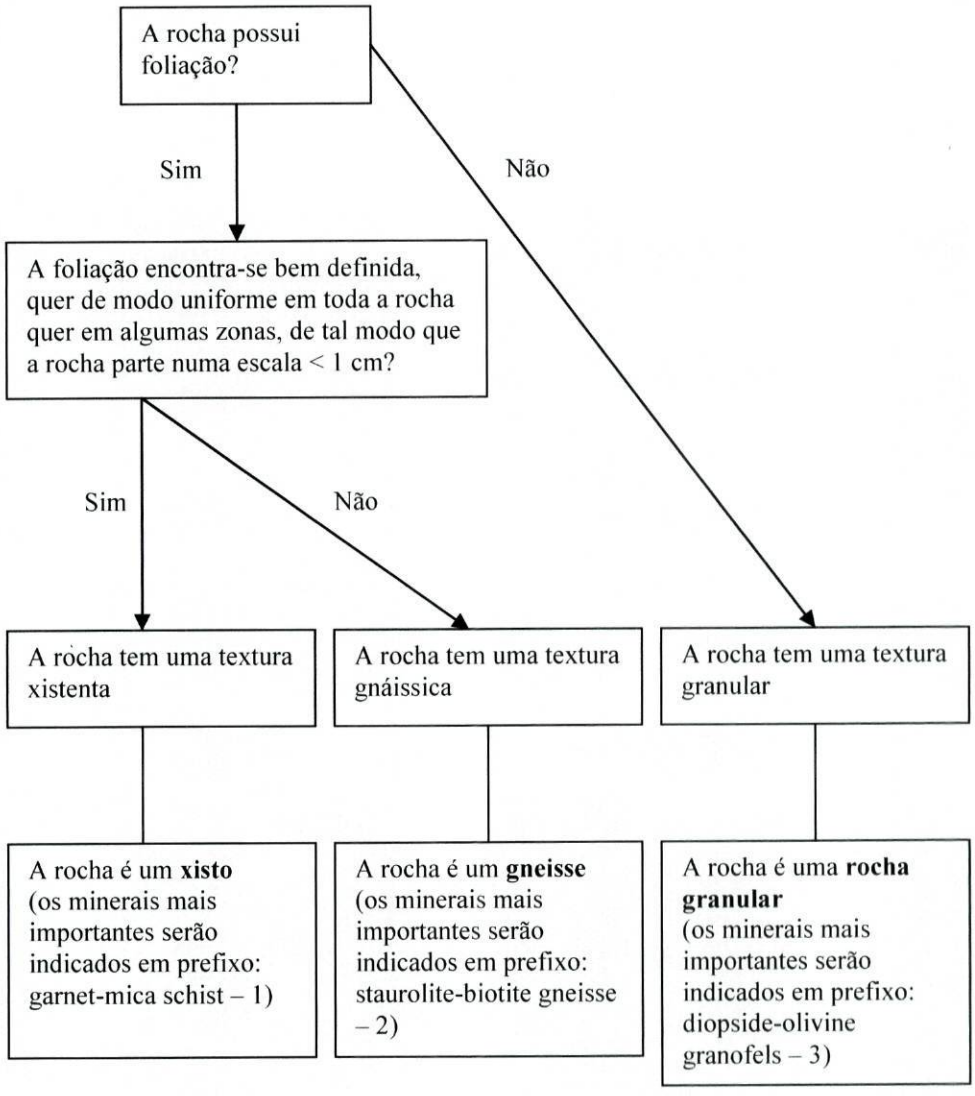
Figura 9 – Categorias definidas pela SCMR para os nomes das rochas metamórficas. No glossário proposto pela SCMR todas as definições serão identificadas como recomendadas, restritas ou desnecessárias (adaptado de Schmid et al., 2002)

A utilização da chave dicotómica da figura 9, pode conduzir à consulta da lista dos nomes específicos mais comuns constantes da Tabela 4.

Tabela 4 – Listagens de alguns dos nomes específicos recomendados pela SCMR com aplicação mais generalizada (nota: esta lista é informativa, não é exaustiva). Estes nomes serão atribuídos preferencialmente aos nomes base estruturais equivalentes (adaptado de Schmid et al., 2002).

Anfibolito	Migmatito
Rocha calco-silicatada	Milonito
Cataclasito	Filito
Eclogito	Quartzito
Granulito	Serpentinito
Xisto verde	Ardósia
Corneana	Mármore

Na figura 10 reproduzem-se, sob a forma de chave dicotómica, os procedimentos a seguir para a atribuição de um nome sistemático a qualquer rocha metamórfica, baseado nos nomes base estruturais propostos pela SCMR.



1- Micaxisto com granada; 2 – Gneisse biotítico com estaurolite; 3 – Rocha granular com diópsido e olivina.

Figura 10 – Chave dicotómica para determinação do nome sistemático para uma qualquer rocha metamórfica, baseado nos nomes base estruturais, de acordo com a SCMR (adaptado de Schmid et al., 2002).

4.3. Tipos de metamorfismo

A SCMR, sob proposta da IUGS (ver pág. 46), no âmbito dos trabalhos que pretendem o estabelecimento de nomenclatura e noções compreensíveis internacionalmente, tem em preparação e discussão um conjunto de definições abrangendo os tipos e fácies de metamorfismo.

Colaborando com o referido grupo de trabalho, Smulikowski et al. (2003) proposeram a seguinte definição (provisória) para metamorfismo: processo que envolve mudanças na mineralogia e/ou microestrutura de uma rocha no estado sólido; o processo refere-se principalmente à adaptação da rocha às novas condições físicas, as quais são diferentes daquelas que vigoravam no momento em que a rocha se formou, bem como das condições físicas que existem à superfície da Terra e na zona da diagénese; o processo pode coexistir com a fusão parcial e pode envolver, também, modificações na composição química global da rocha. A proposta que estes autores apresentam para a caracterização dos diferentes tipos de metamorfismo discrimina os seguintes critérios:

1) *extensão* abrangida pelo metamorfismo – ex.: metamorfismo regional ou metamorfismo local;

2) *enquadramento geológico* do metamorfismo – ex.: metamorfismo orogénico, metamorfismo de fundo oceânico ou metamorfismo de contacto;

3) *factor dominante* do metamorfismo (T, P, P_{H2O}, deformação) – ex.: metamorfismo termal;

4) *causa particular* do metamorfismo, como seja, metamorfismo de impacto, metamorfismo hidrotermal, metamorfismo de combustão; nesta categoria podem ainda considerar-se o metamorfismo de contacto, o pirometamorfismo e o metamorfismo "hot-slab";

5) *número de eventos* que conduziu ao metamorfismo, isto é, na existência de um único evento ou de vários eventos – monometamorfismo ou polimetamorfismo;

6) *variação da temperatura*, isto é, se ocorreu incremento ou diminuição da temperatura – metamorfismo progressivo ou metamorfismo retrógrado.

A classificação proposta por Smulikowski et al. (2003) apresenta-se na figura 11, não reproduzindo todos os termos constantes da literatura, por ser entendimento daqueles autores que se trata de termos que não consideram as principais características do metamorfismo ou são ambíguos e desnecessários.

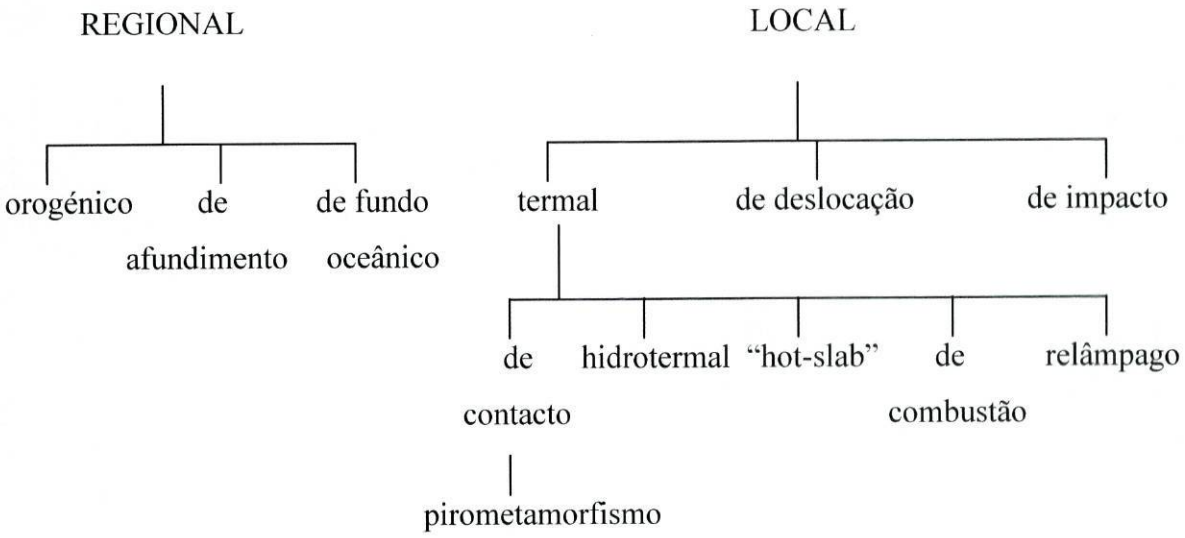


Figura 11 – Principais tipos de metamorfismo de acordo com Smulikowski et al. (2003).

Para uma melhor compreensão da classificação proposta pelos autores (figura 11), entende-se oportuno apresentar as definições dos diferentes tipos de metamorfismo:

metamorfismo regional – é um tipo de metamorfismo que se desenvolve abrangendo uma área de grandes dimensões, isto é, afectando um grande volume de rocha e estando associado a processos tectónicos de larga escala tais como, expansão de fundos oceânicos, espessamento da crusta por orogenia, subsidência nos fundos de bacias de sedimentação, etc.;

metamorfismo local – é um tipo de metamorfismo que se desenvolve numa extensão e num volume de rocha limitados, sendo as suas causas directamente associadas a um fenómeno específico, tal como uma intrusão magmática, um sistema de falhas ou o impacto de um meteorito;

orogénico - metamorfismo regional associado ao desenvolvimento de cinturas orogénicas; pode estar associado a várias fases da orogenia e envolver regimes compressivos e/ou distensivos; efeitos dinâmicos e termais combinam-se em proporções variadas e abrangendo uma extensa série de condições de P-T;

de afundimento – metamorfismo regional (na maior parte das vezes) que afecta rochas profundamente enterradas sob uma pilha de detritos vulcano-sedimentares, tipicamente sem relação com deformação ou magmatismo; as rochas resultantes estão parcial ou totalmente recristalizadas e geralmente sem foliação; envolve, na maioria das situações, metamorfismo de temperaturas muito baixas a médias e uma razão P/T baixa a média;

de fundo oceânico – metamorfismo regional relacionado com o acentuado gradiente geotérmico que se regista próximo de zonas de expansão em contexto oceânico; a

recristalização – maioritariamente incompleta – abrange um extenso leque de temperaturas; o metamorfismo está associado à circulação de fluidos aquosos aquecidos, manifestando um aumento da sua temperatura com a profundidade;

termal – metamorfismo local causado pelo calor de uma fonte perfeitamente identificada;

de contacto – metamorfismo que afecta as rochas encaixantes de um corpo magmático; causado, principalmente, pela transferência de calor entre o corpo magmático intrusivo e as rochas encaixantes; a variação da temperatura de metamorfismo é significativa;

pirometamorfismo – metamorfismo caracterizado por temperaturas muito altas – combinadas com pressões muito baixas – geradas por um corpo vulcânico (é típico dos xenólitos encerrados no interior dos corpos vulcânicos, podendo fazer-se acompanhar de vários graus de fusão parcial);

hidrotermal – metamorfismo causado por fluidos aquecidos ricos em H_2O; o metassomatismo está associado a este tipo de metamorfismo;

"hot-slab" – metamorfismo que ocorre debaixo de um corpo litológico quente, tectonicamente instalado (exumação tectónica);

de combustão – tipo raro de metamorfismo devido à combustão de combustíveis naturais;

relâmpago – metamorfismo devido ao impacto de um relâmpago;

de deslocação – metamorfismo local associado a zonas de falha ou a zonas de cisalhamento;

de impacto – metamorfismo local provocado pelo impacto de um corpo celeste (projéctil) com uma superfície planetária (alvo); inclui fusão e vaporização das rochas alvo.

As rochas podem acomodar os efeitos de mais do que um evento metamórfico como, por exemplo, metamorfismo de contacto sucedendo a metamorfismo regional, pelo que se podem distinguir – segundo este critério – os seguintes tipos de metamorfismo:

monometamorfismo – metamorfismo originado por um único evento metamórfico (figura 12a e 12b);

polimetamorfismo – metamorfismo originado por mais do que um evento metamórfico (figura 12c e 12d).

No contexto destas definições apresentadas à SCMR, Smulikowski et al. (2003) chamam *evento metamórfico* à sequência contínua de factores (T, P, deformação) sob os quais o processo de recristalização provocado pelo metamorfismo começa e continua até que, eventualmente, termine. Nas situações mais típicas, de acordo com estes autores, um evento metamórfico envolverá um ciclo de aquecimento e arrefecimento, que no metamorfismo orogénico se fará acompanhar de variações de pressão e de deformação.

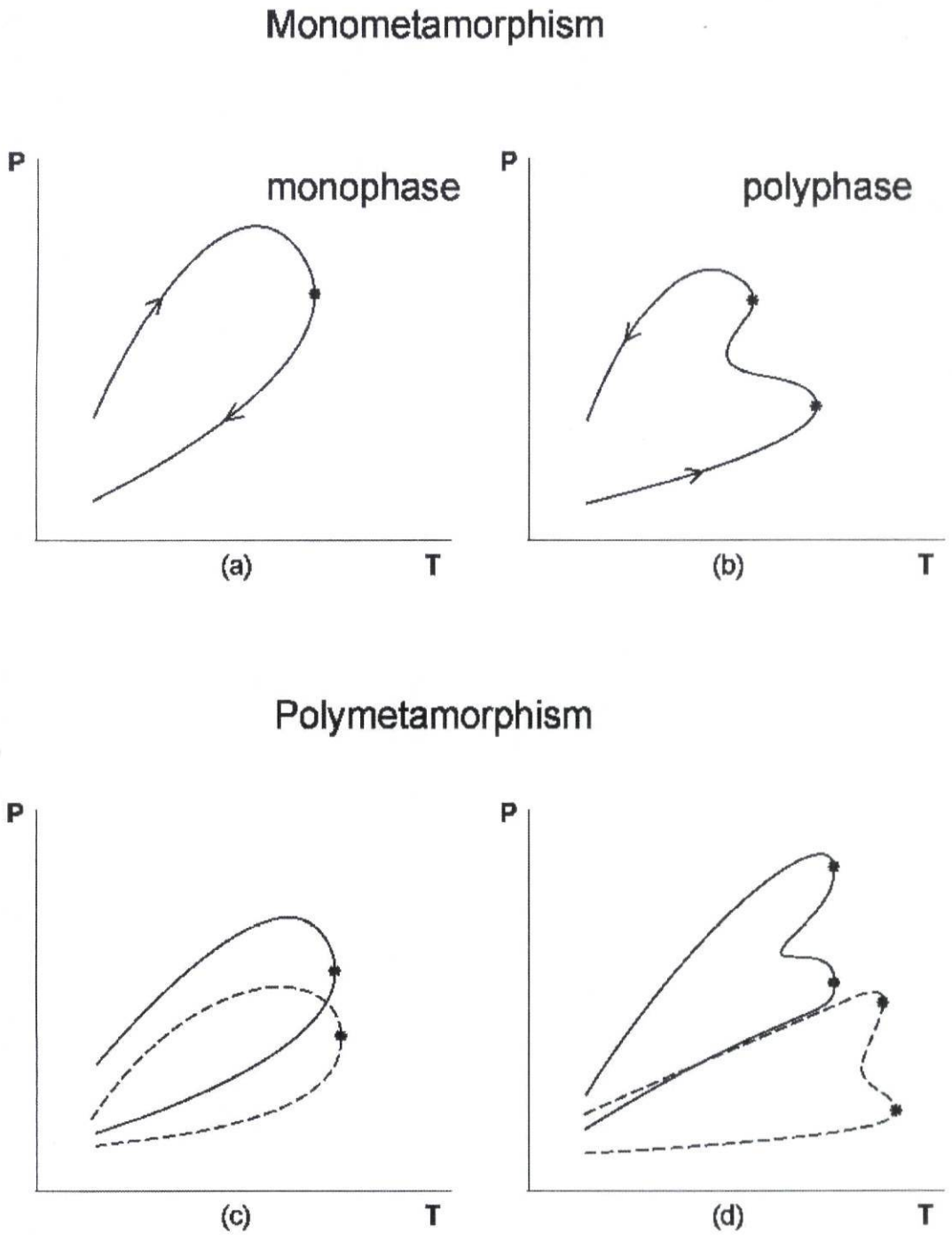


Figura 12 – Linhas de P-T-t para o monometamorfismo (a e b) e polimetamorfismo (c e d). Cada linha representa um evento metamórfico: a) monofásico com sequência horária de P-T-t; b) polifásico com sequência retrógrada; c) dois eventos monofásicos; d) dois eventos polifásicos. Os asteriscos representam os climaxes termais (de acordo com Smulikowski et al., 2003).

As condições de metamorfismo de um determinado evento metamórfico podem ser representadas num diagrama pressão-temperatura (P-T) por uma linha P-T-t, onde "t"

representa o tempo. Na figura 12 as linhas contínuas representadas em 12a e 12b traduzem uma sequência de condições de P-T que ocorreram num dado corpo rochoso ao longo de um período de tempo associado a um determinado evento metamórfico.

Para a SCMR, segundo Smulikowski et al. (2003), aceita-se que as modificações nas condições de P-T durante um evento metamórfico não envolvem, necessariamente, apenas uma fase de aquecimento e arrefecimento ou uma fase de aumento de presão seguida de uma diminuição dessa mesma pressão, isto é, um evento metamórfico pode ser monofásico (com um único clímax térmico – fig. 12a) ou polifásico (com dois pontos termais máximos – fig. 12b). O polimetamorfismo ilustrado na figura 12 representa dois eventos metamórficos monofásicos (12c) e dois eventos metamórficos polifásicos (12d), que deixam as suas marcas no corpo rochoso. Note-se que os pontos de uma linha P-T-t podem ser associados a idades diferentes e isso, mesmo num evento monofásico, corresponde a secções específicas da linha P-T-t. O metamorfismo pode desenvolver-se no sentido horário (fig. 12a) ou antihorário (fig. 12b), em conformidade com os seus máximos de temperatura (climaxes termais), sob condições de diminuição ou de aumento de pressão, respectivamente (na prática é muito complicado distinguir uma situação de metamorfismo polifásico de uma outra relativa a polimetamorfismo).

4.4. Terrenos metamórficos e magmáticos em contexto orogénico

Uma grande parte da crusta terrestre é constituída por rochas metamórficas, formadas e deformadas durante processos orogénicos. Para Brown (2001) estes processos são sistemas fechados com um comportamento autónomo e organizado que proporciona suficiente dissipação de energia, a qual se manifesta nas trocas existentes durante a deformação, o metamorfismo e a anatexia. Toda esta geodinâmica deriva do calor interno da Terra, quer o libertado a partir do núcleo, quer o resultante do decaimento radioactivo. O calor transportado – por convexão ou por condução – determina a T que é atingida em profundidade na litosfera, bem como o tipo de metamorfismo da crusta, a ocorrência de fusão ("melting") ou o comportamento reológico. Durante uma orogenia, os processos tectónicos e magmáticos envolvem transporte de calor para níveis menos profundos da litosfera em deformação, sendo a fusão e o transporte do "melt" responsáveis pela redistribuição de elementos radioactivos. Segundo Brown (2001) são estes processos que controlam a evolução e a diferenciação da crusta continental, constituindo estruturas de dissipação da energia interna da Terra.

A evolução orogénica em zonas de colisão, apesar das muitas variáveis que possui, engloba um período de espessamento crustal, um período durante o qual o aumento de espessura e a exumação se equilibram e um período de colapso (op. cit.). Como a tensão nas cinturas orogénicas não parece associar-se de forma simples às forças que envolvem os movimentos das placas, outros factores poderão contribuir para a deformação da crusta continental, principalmente a diferença de gravidade. A existência de modelos numéricos termo-mecânicos (Brown, 2001) para a evolução dos orógenos (em situação de colisão) com resultados que estabelecem limites para as condições físicas necessárias para gerar as altas temperaturas capazes de provocar a anatexia da crusta, faz com que a investigação aponte para a separação mecânica entre a crusta enfraquecida e a zona inferior da placa litosférica em processo de subducção.

Estudos geológicos e geofísicos de orógenos activos (Brown, 2001) têm dado indicações de que parte da crusta se encontra num estado de fusão parcial durante as orogenias. A presença de "melt" pode enfraquecer a crusta, de tal forma que esta se separa do conjunto que forma com a placa litosférica; ao mesmo tempo, está facilitada a exumação da crusta mais profunda. Torna-se importante compreender o comportamento reológico da crusta parcialmente fundida, para conseguir determinar os efeitos mecânicos do "melt" na crusta e avaliar as consequências destes efeitos durante a evolução orogénica. Há interrelações entre a fusão e o transporte de "melt" e a deformação (Brown, 2001).

Os regimes de fusão existentes na crusta são essencialmente de dois tipos (Brown, 2000):

- fusão por contacto associado a corpos ígneos, caracterizada por aquecimento e arrefecimento isobáricos;
- fusão regional durante as orogenias, que se desenvolve segundo uma evolução de P-T normal.

Durante a fusão regional, a movimentação de "melt" para fora da região onde foi originado, é acompanhada por um fluxo de água, o qual acarreta consequências para a evolução da crusta inferior, nomeadamente, reacções de hidratação a partir do momento em que ocorre a exsolução da água aquando da cristalização do "melt" (Brown, 2000).

Para este autor a origem do "melt" poderá residir nos fenómenos tectónicos usuais ou em fenómenos ocasionais localizados no manto, embora cite trabalhos de outros autores (Barboza et al., 1999 e Brown, 2000) que referem evidências de fusão, no episódio final – de colapso –, durante os momentos de colisão associados aos orógenos. Esta fase final (Brown, 2000) fica registada nas paragéneses minerais do metamorfismo, evidenciando a existência de descompressão e de uma pequena variação da temperatura (reconhecida através de certos minerais). Neste contexto de fenómenos de fusão regional Barboza et al. (1999), Brown (2000) e Marchildon e Brown (2002), questionam-se quanto à relação, se existente, entre o leucossoma dos migmatitos e os plutões graníticos, isto, no caso de se admitir que os migmatitos constituem o registo crustal daqueles processos de fusão regional. Embora os terrenos metamórficos onde se encontram migmatitos possuam composições geoquímicas compatíveis com a perda de "melt", alguns tipos de migmatitos reflectem uma acumulação e redistribuição daquele material fundido. Barboza et al. (1999), Brown (2000) e Marchildon e Brown (2002), com base em dados geoquímicos, consideram improvável que, apesar de tudo, os migmatitos originados no limite da anatexia, por um processo de fusão caracterizado pela existência de excesso de água (que ajuda ao fluxo do material fundido), constituam um modelo adequado para a génese das massas graníticas; não obstante esta incompatibilidade, constituem, ainda assim, uma base comparativa para o fluxo de "melt" através da crusta, em especial nas situações de reduzida escala. Estes autores referem que, em alguns terrenos metassedimentares, pequenos corpos graníticos de forma achatada parecem ter-se formado devido a um fenómeno localizado de fusão (saturado em água), ao passo que, no caso das grandes massas plutónicas de granito, as características geoquímicas apontam para uma

origem associada à fusão da moscovite, envolvendo desidratação, o que implica, de acordo com os referidos autores, um transporte a partir de zonas mais profundas[48].

4.4.1. A situação existente no NW da Península Ibérica

No caso particular da orogenia Hercínica e dos fenómenos de anatexia que afectaram o Maciço Ibérico, os trabalhos de Castro et al. (2000), realizados na zona NW de Espanha (figura 13), permitiram o estabelecimento de um esboço do contexto geológico associado aos granitos ibéricos.

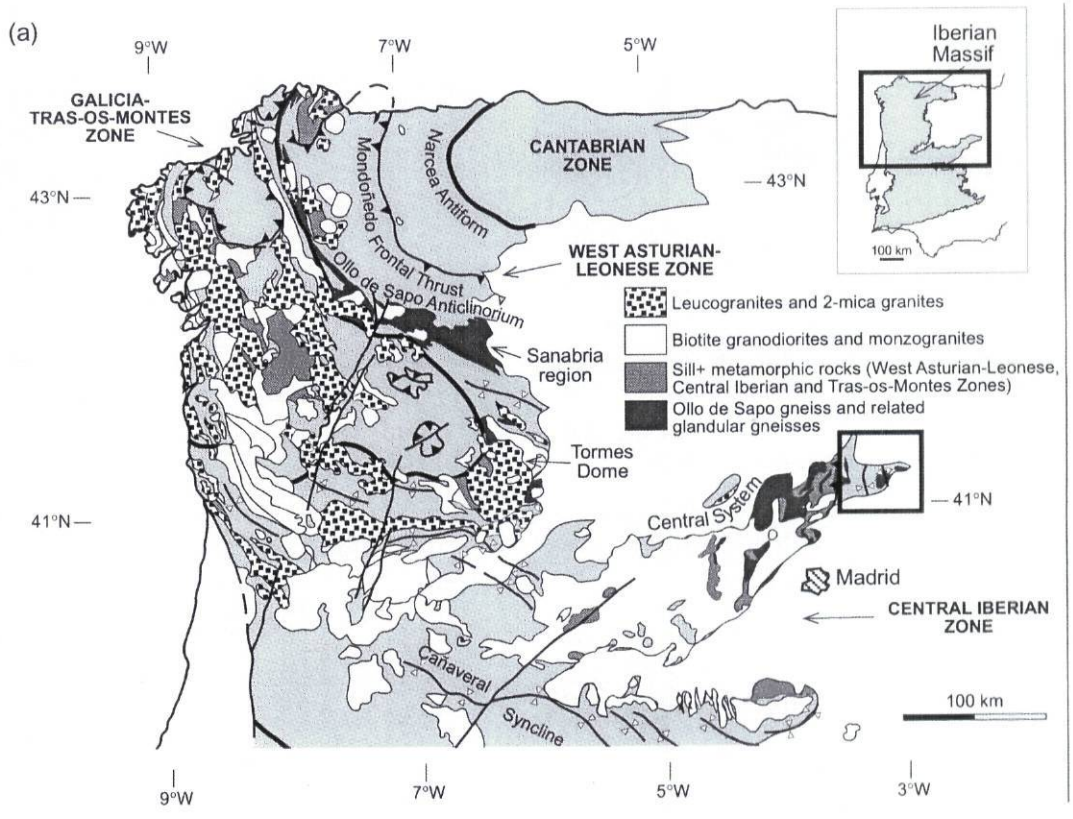


Figura 13 – Esboço geológico da porção Norte do Maciço Ibérico. Os granitos peraluminosos estão representados de modo distinto dos outros tipos de rochas graníticas (adaptado de Castro et al., 2000).

Uma das características mais salientes do Maciço Ibérico é o vasto volume de granitos (*senso lato*) produzido durante a orogenia Hercínica. Nos domínios mais internos do maciço Hercínico (Zona Centro Ibérica) as massas graníticas constituem ~50% das rochas aflorantes (figura 13). Os primeiros episódios tectónicos, que Castro et al. (2000) referem como D_1 – o

[48] Estudos realizados por Brown (2001) sugerem que o calor gerado em zonas de cisalhamento pode constituir uma fonte térmica mais importante do que se pensava, no balanço termal das orogenias. Apesar do pequeno aumento da temperatura que é induzido pelo cisalhamento associado a zonas de falha à escala da litosfera, os estudos sugerem que este calor pode ser responsável pela fusão da crusta inferior; tal possibilidade depende das características reológicas do manto superior bem como das da crusta inferior.

mesmo que F_1 para outros autores[49] – (figura 14), foram de contracção e conduziram a um espessamento da crusta na zona central do Maciço Ibérico.

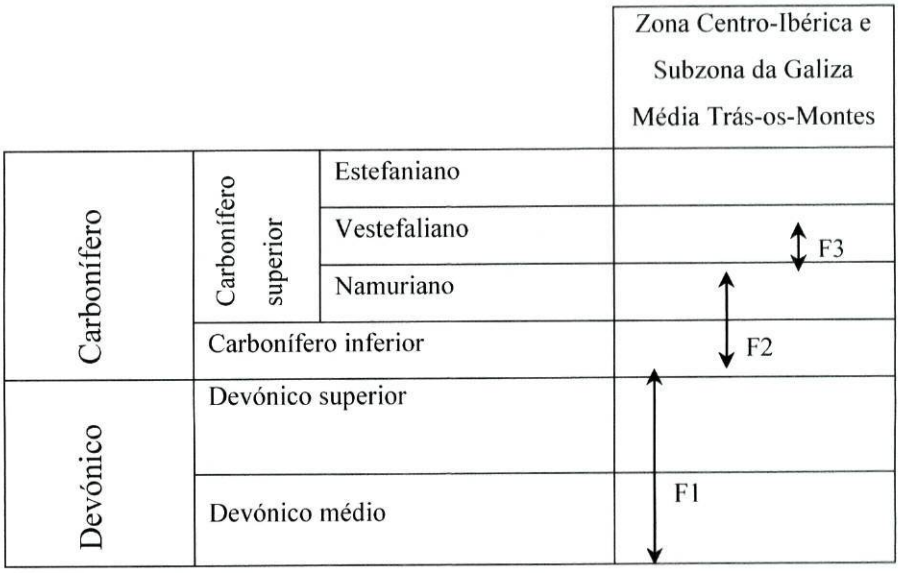


Figura 14 – Cronologia das diferentes fases de deformação Varisca para a Zona Centro Ibérica (adaptado de Noronha et al., 1979).

A estes eventos seguiu-se uma fase predominantemente distensiva. Os episódios mais tardios incluem, na opinião dos referidos autores, contracções e "repelões" tectónicos, assim como fases distensivas. Estudos que incidiram sobre o metamorfismo, revelaram uma evolução P-T normal, caracterizada por uma descompressão quase isotérmica. Tal descompressão tem vindo a ser interpretada como sendo o efeito dos eventos distensivos de D_2. Os granitóides da zona central do Maciço Ibérico foram subdivididos (Castro et al., 2000) em *older*, granitóides *sin-* tectónicos e *younger*; os volumes mais apreciáveis de magmas graníticos (*older*) são tardios em relação à fase de contracção principal (D_1) e possivelmente relacionados com D_2 ou fases distensivas posteriores, durante a actividade ocorrida em zonas de cisalhamento à escala crustal. A distinção dos diferentes grupos de granitóides hercínicos em função da idade[50] vai do Devónico ao Pérmico (figura 14). Ao considerarmos em conjunto as idades e a informação estrutural, surgem dois grupos distintos: um com idades ›300 Ma e outro com idades ‹290 Ma. Estes dois grupos correspondem, respectivamente, aos granitos *older* e *younger* já referidos.

[49] Nomeadamente Noronha et al. (1979). Importa registar que o recurso à letra D tem subjacente a ideia de deformação, enquanto que a utilização da letra F faz-se por associação a fase.

Considerando a sua composição química e mineralógica, Castro et al. (2000) agrupam os granitóides hercínicos – *older* e *younger* – em duas famílias:

i) peraluminosos, granitos de duas micas e leucogranitos;

ii) granodioritos ricos em biotite (±Crd ±Hb).

Os referidos autores entendem que estes dois grupos dominantes de granitóides hercínicos (leucogranitos e granodioritos ricos em biotite) tiveram a sua génese e instalação em episódios diferentes e com estilo tectónico distinto. As suas principais características são:

(1) os leucogranitos *older* relacionam-se com os episódios de metamorfismo e a sua instalação está associada ao desenvolvimento de extensas zonas de cisalhamento;

(2) os granodioritos ricos em biotite aparecem em momentos diferentes do ciclo hercínico; os grandes volumes existentes destes granitóides são posteriores à última fase dúctil importante e estão associados a zonas de cisalhamento da crusta que surgiram e se desenvolveram aquando dos eventos distensivos;

(3) os granodioritos ricos em biotite estão, frequentemente, associados a corpos menores de rochas básicas e intermédias, que manifestam "mixing" e "mingling" de magmas a uma pequena escala; estas características são partilhadas pelos granodioritos ricos em biotite, tanto *older* como *younger*.

[50] Castro et al. (2000) apresentam esta distinção em função da idade com base em Pinto (1983): M. Serrano Pinto – Geochronology of Portuguese Granitoids: a Contribution – Studia Geologica Salmanticensia 18, 277-306.

4.5. Migmatitos[51] e rochas associadas

No âmbito desta revisão bibliográfica temos vindo a definir alguns termos e conceitos, cuja utilização pretendemos que não levante dúvidas, atenta a especificidade geológica da região por nós estudada.

Nesta conformidade, comecemos por enunciar a definição e a descrição de migmatitos apresentadas por Ferreira (1972), em publicação dedicada ao metamorfismo e destinada, nas palavras de Cotelo Neiva, que prefacia a obra, «(...) aos alunos da licenciatura em Geologia, aos do curso de Engenharia de Minas, aos geólogos, aos engenheiros de minas, aos professores de Ciências Naturais e a todos aqueles que desejem actualizar-se na fenomenologia metamórfica».

Para este autor o metamorfismo só é possível para temperaturas (T) e pressões (P) acima de certos valores. Estas condições encontram-se balizadas pela diagénese, num extremo, e pelo ultrametamorfismo, no outro; são estes os processos petrogenéticos que separam as rochas metamórficas das sedimentares e das magmáticas. Este autor considera como facto de observação corrente que «(...) em regiões com rochas metamórficas de elevado grau de metamorfismo, é frequente a associação de rochas metamórficas, migmatitos e granitos. Estas associações surgem porque em condições extremas de metamorfismo, começam a gerar-se migmatitos e rochas graníticas» e tal como referido na definição proposta pela SCMR, o processo metamórfico pode coexistir com a fusão parcial (ver pág. 53).

Neste contexto, os migmatitos aparecerão como resultado daquilo que Ferreira (1972) designa por "diferenciação metamórfica", em que parte da rocha sofre fusão e outra porção permanece refractária. No entender do autor, a fusão (que é selectiva e afecta predominantemente materiais com mais baixo ponto de fusão) dá origem a um fluido a partir do qual, mais tarde, cristalizam «(...) quartzo, feldspatos alcalinos e sódico-cálcicos que injectam, permeiam ou embebem o material refractário». Estas rochas mistas denominam-se migmatitos e possuem minerais que resultam da recristalização no estado sólido (paleossoma) e minerais que provêm da cristalização de um fluido (neossoma). Refere o autor que este é «(...) o reino do ultrametamorfismo, em que os processos de recristalização dos minerais, no estado sólido, marginam com processos de formação de minerais a partir de fluidos – este é o reino do metamorfismo mais lato, o reino pequeno mas complexo de fronteira entre o metamorfismo e o magmatismo».

[51] Termo de origem grega cujo prefixo – migma – significa mistura.

Apresentamos, agora, uma aproximação à definição de migmatitos formulada por Kornprobst (1994):

«Sob condições de alta temperatura (T > 650° C) os líquidos de composição granítica são produzidos por fusão parcial de metapelitos. Este processo conduz à formação de migmatitos, rochas compósitas constituídas pela associação íntima entre produtos e resíduos da fusão».

Acrescenta, ainda, que se trata de um processo magmático, na medida em que implica o aparecimento duma fase líquida; no entanto, a sua ligação estreita com altos graus de metamorfismo, justifica a inclusão da sua descrição num manual sobre rochas metamórficas.

Na figura 15, representam-se, os tipos de migmatitos que o referido autor considera mais importantes.

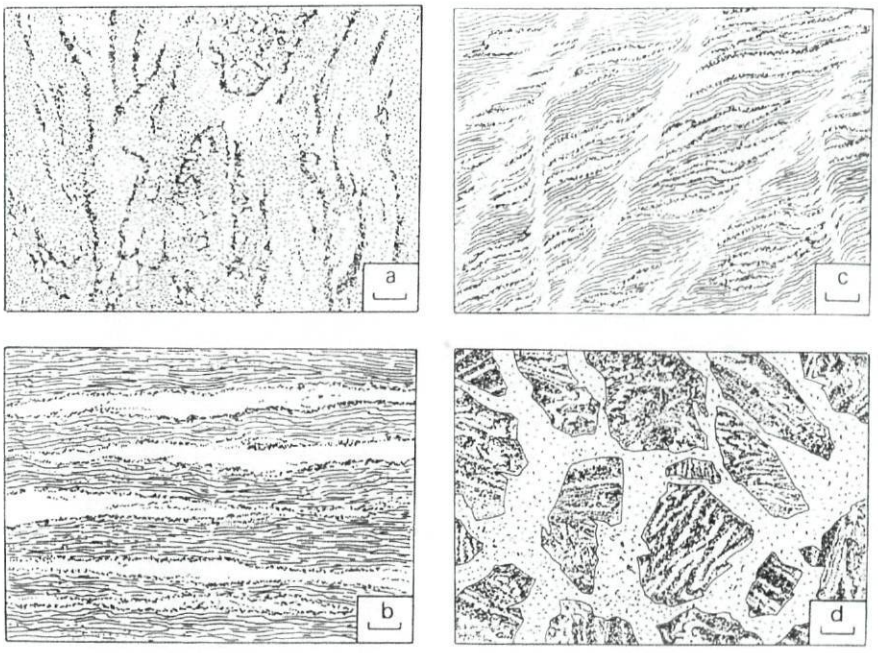


Figura 15 – Principais tipos de migmatitos: a) Migmatitos mosqueados; b) estromatitos; c) dictionitos; d) agmatitos. Escala: 10 a 20 cm (Kornprobst, 1994).

Kornprobst (1994) define os principais tipos de migmatitos da seguinte forma:

Migmatitos mosqueados – são constituídos por manchas irregulares de neossoma dispersas no paleossoma, com limites fluidos e irregulares entre os dois meios; representam o estado mais elementar da migmatização; o líquido resultante da fusão parcial, muito viscoso, foi produzido *in situ* (certamente em zonas do paleossoma de composição favorável, determinando a posição das manchas), em quantidade reduzida; este líquido, com pouca

mobilidade, acumula-se em bolsas de reduzida dimensão, incapazes de gerar um impulso significativo em relação ao mesossoma;

Estromatitos – neste caso são constituídos por níveis alternados – em pequena escala (alguns mm a alguns cm) – de neossoma e de mesossoma; os limites entre leucossoma e mesossoma são, por vezes, pouco distintos;

Dictionitos – apresentam uma interpenetração complexa do mesossoma e do neossoma (leucossoma + melanossoma), o que atesta relações genéticas entre estes dois constituintes; a segregação e a mobilidade do líquido de fusão parcial foram induzidas por um regime de anisotropias responsável pela junção do leucossoma em filões anastomosados;

Agmatitos – caracterizam-se por um mesossoma brechóide, impregnado pelo leucossoma[52]; as relações genéticas entre o líquido granítico e o mesossoma são menos evidentes nestes migmatitos (do que, por exemplo, nos dictionitos), posto que o melanossoma está ausente, na maior parte dos casos[53].

Para Blatt e Tracy (1995) os migmatitos não passam de rochas misturadas, constituídas por leitos de composição granítica e cor clara, em alternância com leitos de rocha metamórfica de tonalidade mais escura (ex.: xistos ou gneisses). A definição apresentada por estes autores surge no seguimento da referência às características estruturais dos batólitos[54] tendo, inclusivé, esquematizado (figura 16C) a relação espacial entre um batólito e a zona de migmatitos e de metamorfismo de contacto.

[52] Conforme é patente na figura 15d, quase poderia definir-se este leucossoma como constituindo um falso "cimento".

[53] O carácter brechóide desta formação sugere a acção de uma fracturação hidráulica no tecto dos migmatitos, como consequência da acumulação de uma quantidade de composto granítico suficiente para gerar um impulso por contraste de densidades. O próprio autor – Kornprobst (1994) – caracteriza os agmatitos como blocos, migmatíticos ou não, geralmente angulosos, cimentados por um leucossoma que não está, necessariamente, ligado geneticamente aos elementos da brecha (que não representam, necessariamente, o respectivo paleossoma ou melanossoma).

[54] De acordo com os autores, a identificação destas estruturas é particularmente útil em TC.

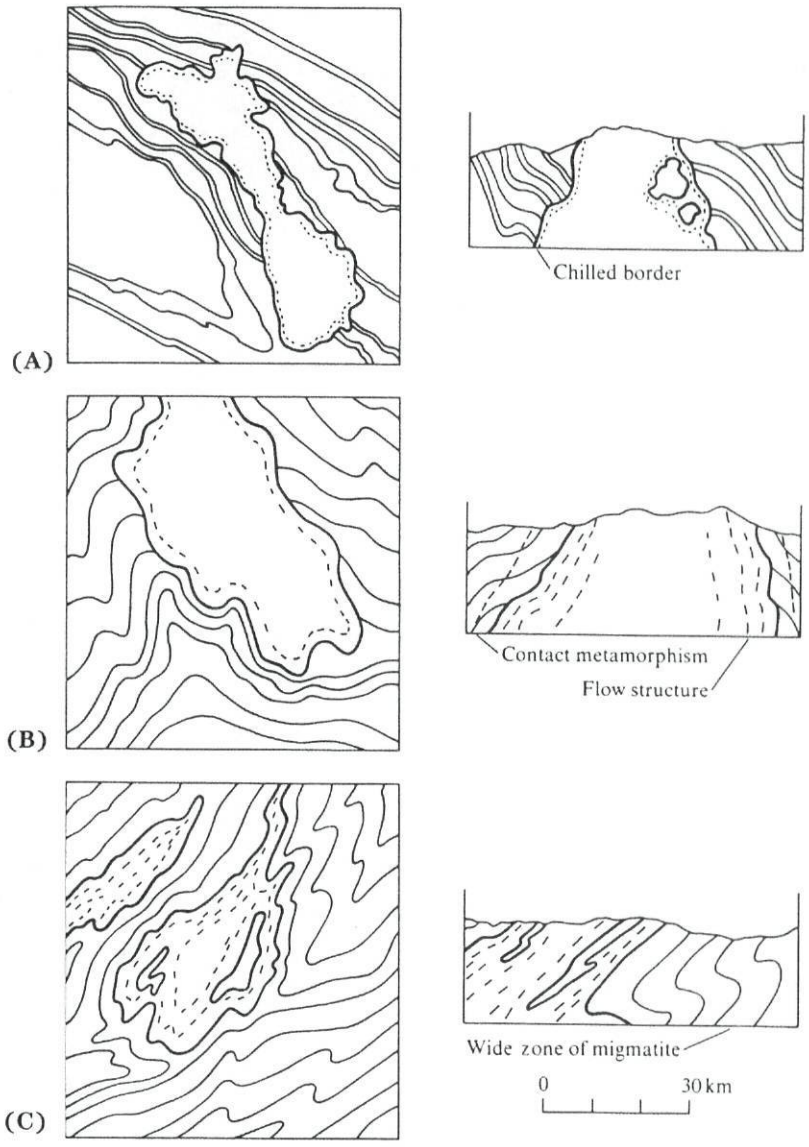


Figura 16 – Modelos estruturais de batólitos e "stocks" vistos de cima (esquerda) e em corte (direita). **(A)** Pouca profundidade (epizonal - < 5 km de profundidade) com contactos discordantes e margem de arrefecimento; se presente, a auréola de metamorfismo é limitada; tamanho aproximado: 10 – 100 km^2; **(B)** Profundidade média (mesozonal – 5 – 15 km) com contactos que são em parte discordantes, em parte concordantes; possuem uma maior auréola de metamorfismo e as estruturas de fluxo são comuns no batólito; tamanho aproximado: 100 – 500 km^2; **(C)** Grande profundidade (catazonal - > 15 km) com contactos geralmente concordantes, mas que podem ser discordantes caso o batólito se tenha movimentado a partir da região onde ocorreu o "melting"; estruturas fluidais ou bandado típico dos gneisses surgem paralelos aos contactos; existe; tipicamente, uma larga auréola de metamorfismo e uma zona de migmatitos; tamanho aproximado: 50 – 100 km^2 (Blatt e Tracy, 1995).

Uma outra definição para os migmatitos é apresentada por Winter (2001) quando se refere a rochas que, devido a metamorfismo intenso, desenvolvem segregações félsicas. Este autor atribui a paternidade do termo a Sederholm, em 1907, designação atribuída a uma

"rocha misturada"[55], cuja mistura seria de componentes ígneos e metamórficos. E, de facto, as rochas parecem denunciar uma mistura, pois possuem uma fracção "xistenta" escura (o melanossoma), intimamente associada a uma fracção de cor clara, granular, que se desenvolve em camadas centimétricas, veios ou lentículas[56] pobres em material "xistento" (o leucossoma).

Este autor refere ainda o termo paleossoma para o material dos migmatitos que possui um carácter intermédio entre o melanossoma e o leucossoma, sendo interpretado como zona da rocha original não afectada pela migmatização.

Geneticamente, Winter (2001) considera que os migmatitos parecem representar o culminar de um metamorfismo de alto grau, sujeito a condições mais hidratadas do que as que caracterizam a fácies dos granulitos[57]. Já do ponto de vista mineralógico, o mesmo autor associa um melhor desenvolvimento dos migmatitos à existência de metapelitos na sua origem, se bem que não descarte a possibilidade da sua ocorrência se verificar a partir de sedimentos arenosos ou arcósicos metamorfizados, bem como de granitóides.

Num contexto de TC, o reconhecimento dos migmatitos e a sua classificação, sob o ponto de vista das estruturas observáveis – essencialmente as relações entre leucossoma e melanossoma (figura 17) –, permite o estabelecimento dos seguintes tipos mais comuns (Winter, 2001):

Migmatitos tipo veio – o leucossoma forma um distinto conjunto aleatório de veios que individualiza blocos irregulares de melanossoma;

Estromatitos – o tipo mais comum, no qual o leucossoma forma camadas concordantes e, quase sempre, paralelas à xistosidade[58] presente no melanossoma; as camadas raramente são contínuas, sendo típico que finalizem ou atravessem o melanossoma em algum ponto da sua extensão;

Nebulitos – o leucossoma ocorre sob a forma de corpos irregulares disseminados[59] gradualmente no melanossoma;

Agmatitos – numerosos blocos de paleossoma rodeados por veios de reduzida dimensão de leucossoma[60].

---

[55] "Mixed rock" no original (Winter, 2001).
[56] "Pods" no original, que em inglês significa vagem ou casulo (Winter, 2001).
[57] De acordo com o Dicionário de Mineralogia e Geologia Ilustrado (FORMAR, Lisboa), o granulito é uma rocha metamórfica granular, esbranquiçada, de estrutura laminar ou xistosa, que é formada por feldspato alcalino, quartzo e pequenas granadas vermelhas (encontra-se junto a xistos cristalinos).
[58] Embora o termo usado no original seja xistosidade, seria preferível o recurso ao termo foliação.
[59] No original é dito que formam "patches", o que significa, em inglês, que se encontram embutidos (Winter, 2001).
[60] Estes agmatitos são típicos das zonas ricas em encraves, marginais às intrusões granitóides.

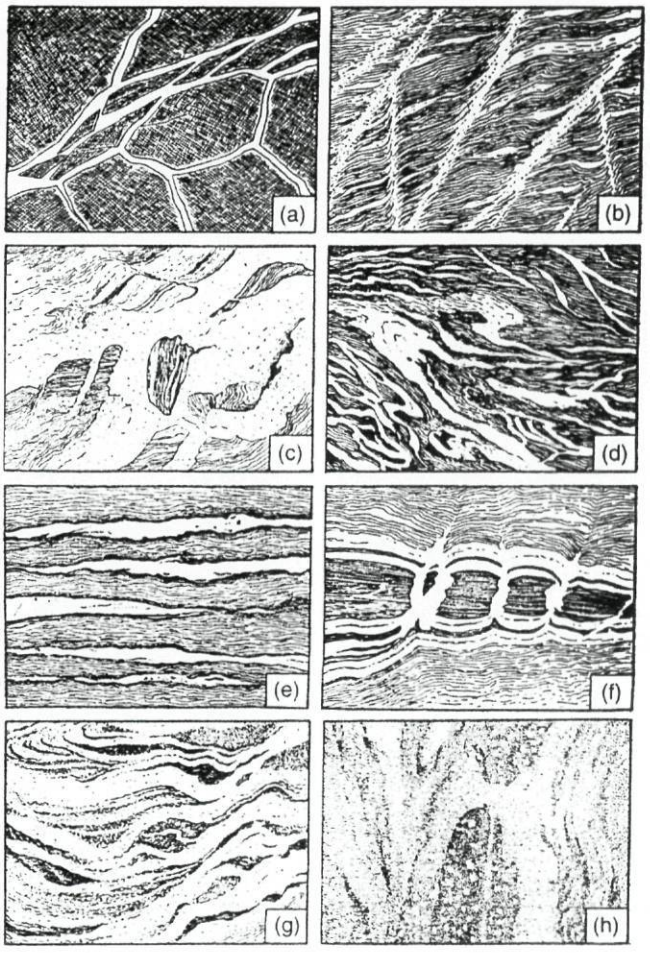


Figura 17 – Texturas dos migmatitos. (a) Tipo brecha em agmatito; (b) Tipo rede; (c) Tipo "raft"[61]; (d) Tipo anastomosado[62]; (e) Tipo estromático ou em camadas; (f) Estiramento em camada *boudinada*; (g) Tipo "schleiren; (h) Tipo nebulosa (adaptado de Winter, 2001).

Na concepção de um novo modelo explicativo para a origem dos migmatitos (adiante descrito), Kriegsman (2001) define estas rochas da seguinte maneira: «Os migmatitos são – macroscopicamente – rochas compostas por domínios félsicos (leucossoma) e domínios máficos, nas quais os componentes félsicos apresentam maior mobilidade do que os demais componentes (...). Os domínios predominantemente máficos são misturas de elementos félsicos e máficos (mesossoma) ou quase exclusivamente máficos (melanossoma). Os três componentes estão quase sempre presentes, encontrando-se o melanossoma a separar o leucossoma do mesossoma».

Quando o bandado migmatítico se encontra presente na rocha, este autor designa-a metatexito; no caso em que o bandado se encontra desvanecido por acção de grandes volumes de "melt", chama-lhe diatexito. Um aspecto que o autor coloca em crise é a descrição aceite

[61] "Raft" em inglês significa jangada.
[62] "Vein structure" no original.

para o mesossoma quando este é considerado como xisto ou gneisse que teria sofrido pouca modificação. O processo de migmatização envolve reacções que tanto produzem uma fase rica em vapor de água[63] como um "melt"[64].

Especificamente dedicado aos migmatitos, o trabalho[65] de Wimmenauer e Bryhni (2002) visou apurar um definição abrangente para os migmatitos e o que designam como subgrupo dos migmatitos, tendo a convicção de que a essência das rochas é a transição. Assim, no caso particular dos migmatitos, tal pressuposto revela-se em toda a sua plenitude, uma vez que existe um espectro que vai desde as rochas metamórficas às rochas ígneas, o que leva à impossibilidade de estabelecer limites ou aplicar critérios quantitativos.

Para estes autores a escala das estruturas que envolvem migmatitos é tal que é preferível falar de grandes massas de rocha do que propriamente de espécimes em amostra de mão. Resulta daqui o realçar da importância da caracterização destas rochas à escala de afloramento no âmbito do TC.

Assim, Wimmenauer e Bryhni (2002) consideram que está largamente difundida na comunidade científica a seguinte definição[66] para migmatitos:

«Rocha silicatada compósita, penetrantemente heterogénea, em escala que vai do meso ao megascópico. É tipicamente constituída por partes claras e escuras. As partes escuras exibem, frequentemente, características de rocha metamórfica, enquanto que as partes claras têm aparência ígnea».

Esta definição acaba por não se afastar daquela que Mehnert[67] apresentou em 1968, isto é: «rocha megascopicamente compósita, constituída por duas ou mais partes, petrograficamente distintas; uma é a rocha regional num estado de maior ou menor metamorfismo, a outra é uma rocha de aparência pegmatítica, aplítica, granítica ou apenas ígnea».

---

[63] De acordo com Kriegsman (2001) são "subsolidus migmatites".
[64] "Anatectic migmatites" (ibid.).
[65] No contexto dos trabalhos levados a cabo pela SCMR.
[66] Os autores enquadram esta definição na primeira das seguintes categorias: **a)** termos principais – designação bem estabelecida em todo o mundo, através da qual uma variedade de rochas metamórficas ou processos podem ser descritos sem deixar lacunas; **b)** termos especiais – designação bem estabelecida em algumas partes do mundo, podendo ser usada para certas variedades de rocha ou algum tipo de rochas ou processos menos frequentes, ajudando a diminuir descrições mais extensas dessas rochas ou processos; **c)** termos raros ou locais – aquelas designações que não é possível substituir por termos das categorias a) e b); a sua utilização em "papers" ou jornais internacionais não é aconselhada; **d)** termos obsoletos – aqueles que já não são usados nas últimas décadas.
[67] Definição retirada de http://image.univ-lyon1.fr/Joseph/migmatites.html (em 21/10/2003).

4.5.1. Origem dos migmatitos

A origem dos migmatitos ainda não é objecto de uma teoria explicativa que reúna o consenso da comunidade científica, mas têm vindo a ser propostas algumas explicações para a formação destas rochas.

Comecemos por referir o modelo da génese dos migmatitos apresentado por Ferreira (1972), citando uma demonstração realizada a partir de 1957 – por Winkler, Von Papen, etc. – onde grauvaques e xistos argilosos aquecidos a uma T de 650° sob P_{H2O} de 2 Kbar, recristalizam para formar associações mineralógicas de: quartzo + feldspato K + plagioclase + biotite ± cordierite (ou granada) ± silimanite (ou distena) – associações equivalentes às que ocorrem nos gneisses. Acrescenta o autor que se a T for aumentada, para além de certos valores (que dependem de P_{H2O}, CaO/Na_2O, F^-, Cl^-, etc.), a rocha começa a sofrer uma fusão diferencial. Esta fusão não afecta a cordierite, a granada, a silimanite e a biotite, que assim representariam a fracção refractária dos migmatitos (paleossoma). A quantidade desta fase fluida – obtida experimentalmente – aumenta com o sobre-aquecimento e a sua composição química também varia, conduzindo a uma passagem de textura aplítica à granítica e mesmo à granodiorítica.

Neste estudo, é estabelecida a ordem de desaparecimento dos minerais, verificando-se que a ordem mineralógica da fusão é função da composição da rocha inicial. Desta forma se compreende que a migmatização afecte de modo distinto, diferentes tipos de rochas e que o material formado tenha composição que depende de:

1 – temperatura;

2 – composição original da rocha;

3 – relação Ab/An na rocha inicial;

4 – pressão de água;

5 – percentagem de voláteis (H_2O, HCl, HF, etc.).

O fluido originado por fusão pode distribuir-se espacialmente de diferentes modos, como descreve o autor, isto é, o fluido pode: «(...) 1) embeber e, por eventual variação das condições físicas, vir posteriormente a cristalizar "in situ" (na própria rocha mãe); 2) migrar para rochas vizinhas, originando vénulas discordantes ou concordantes, embebições, estruturas brechóides, estruturas oceladas, etc.; 3) formar um corpo de dimensões consideráveis e migrar para fora do domínio da refusão, constituindo, sob esta forma de magma palingenético, corpos magmáticos que, ao consolidarem, geram rochas ígneas (...)».

É sua convicção que nos migmatitos existirão vulgarmente minerais representativos da «(...) fácies refractária (...)» - silimanite, granada, cordierite, opacos – associados a minerais que cristalizaram já a partir do líquido obtido por fusão parcial[68].

Kornprobst (1994) considera, no caso da fusão de metapelitos (ou de metagrauvaques ricos em Ca) que a composição dos primeiros líquidos resultantes de fusão parcial, ficará mais ou menos constante para um largo intervalo de pressões. Trata-se de líquidos de composição granítica, em equilíbrio com associações mineralógicas, cuja natureza depende das condições de P e T, da taxa de fusão e da composição das rochas iniciais. Sob uma taxa de fusão crescente, o feldspato potássico e a biotite desaparecem das associações sólidas que passam a possuir, essencialmente, plagioclase, silimanite, cordierite e/ou granada. A fusão parcial dos metapelitos e dos metagrauvaques conduz a uma associação, mais ou menos estreita, de diferentes materiais oriundos do mesmo protólito.

Ao líquido granítico resultante da fusão parcial, Kornprobst (1994) atribuiu a designação de leucossoma – para caracterizar a sua cor clara; ao resíduo sólido refractário, atribuiu, por seu turno, a designação de melanossoma – com cor mais escura, por comparação com o leucossoma. Estes dois componentes – leucossoma e melanossoma – constituem o neossoma que resulta, por isso, da recombinação, por fusão parcial, dos elementos da rocha original.

Quando subsistem fragmentos da rocha inicial, pouco ou nada afectados pela fusão parcial, o mesmo autor atribuiu-lhes a designação de mesossoma (com coloração intermédia, em comparação com o leucossoma e o melanossoma)[69].

---

[68] «Estes minerais refractários podem formar-se quando começa a fusão parcial. Assim, por exemplo, em rochas com moscovite ou biotite+silimanite+ quartzo, poderiam verificar-se as reacções:
a) moscovite + quartzo ↔ silimanite (refractária) + ortoclase + H_2O (componentes da fusão)
b) biotite + silimanite + quartzo ↔ cordierite (refractária) + ortoclase + H_2O (componentes da fusão)
que gerariam:
1) os refractários – silimanite, cordierite;
2) as contribuições de H_2O e feldspato K para a fusão.
Assim, se compreende que a partir de rochas sem feldspato alcalino expresso mineralogicamente se possam obter líquidos graníticos.
Este é um processo esquemático para explicar a migmatização regional.» (Ferreira, 1972).

[69] No caso de serem, inequivocamente, restos do material inicial, a sua designação será: paleossoma (Kornprobst, 1994).

Para este autor o processo de migmatização pode ser resumido da seguinte forma:

protólito				leucossoma
ou				(líquido de fusão parcial)
paleossoma	→	neossoma	→	
ou				melanossoma
mesossoma				(resíduo sólido)

Na sua apreciação das características das rochas ígneas (úteis em contexto de TC), com origem em zonas profundas[70], Blatt e Tracy (1995) referem que essas rochas se encontram rodeadas por rochas metamórficas de elevado grau de metamorfismo, possuindo associações minerais reveladoras de condições de P e T semelhantes às necessárias para que ocorra anatexia. Os contactos entre as rochas ígneas e as rochas metamórficas tendem a ser graduais, devido à interacção química significativa entre o magma e as rochas regionais. Os migmatitos apresentam-se, para estes autores, como sendo rochas misturadas e em leitos que consistem numa intercalação de níveis graníticos de cor clara com níveis de rochas metamórficas foliadas de cor escura (xistos ou gneisses).

Quanto à origem, Blatt e Tracy (1995) consideram que os migmatitos representam uma fusão parcial e local, com posterior segregação deste "melt" em camadas que se interpenetram no material não fundido. Em contextos ígneos de origem profunda, existe uma conformidade das foliações quer com as rochas regionais, quer com as rochas ígneas, o que indicia uma simultaneidade do metamorfismo, do plutonismo e da deformação[71].

Na definição de migmatitos estabelecida por Vigneresse e Burg (2000), estas rochas metamórficas são apresentadas como rochas crustais deformadas cuja descrição simplificada se pode resumir a: ocorrência concumitante de rocha "original" (paleossoma), "melt" cristalizado (leucossoma) e uma fracção "restítica" (melanossoma). Para uma quantidade de "melt" inferior a 20-30%, dizem aqueles autores, o leucossoma tem uma composição próxima do granito rico em sílica, mas sem elementos ferromagnesianos. Estes estão concentrados no melanossoma, formando quase sempre finas camadas escuras ao longo dos bordos do leucossoma, o que pode indiciar que estes minerais ferromagnesianos formam uma barreira

[70] Na descrição de batólitos e stocks, Blatt e Tracy (1995) descrevem as características identificativas propostas por A. F. Buddington (1959) para a instalação das rochas ígneas a diferentes profundidades. Os migmatitos estariam sempre associados a «catazonal plutons» e ausentes ou com desenvolvimento insignificante em profundidades típicas dos «mesozonal plutons».

[71] Alguns migmatitos patenteiam uma extensa deformação dúctil e milonitização (Blatt e Tracy, 1995).

que conduz o "melt". Os veios de leucossoma que cortam, localmente, o bandado migmatítico, também denunciam a segregação do "melt".

Os autores referidos no parágrafo anterior afirmam que em casos onde o teor de "melt" é ≅ 30%, as camadas perdem continuidade e os migmatitos em camadas (metatexitos) dão origem aos diatexitos de estrutura complexa. Um aspecto importante referido por Vigneresse e Burg (2000) diz respeito às condições de afloramento. Podemos observar os migmatitos por exposição de rochas devido a erosão profunda ou por aparecimento de maciços em forma de domo, bordejados por zonas de cisalhamento. Nestes locais, os eixos das dobras e as zonas de cisalhamento no seio dos migmatitos, são concordantes com as atitudes medidas nas rochas envolventes.

Podemos, ainda, acrescentar que, para aqueles autores, os maciços migmatíticos comportam-se como um todo coerente, apesar do seu comportamento reológico envolver duas fases – sólido e "melt" – com contraste de viscosidade.

Para Winter (2001) existem três possíveis caminhos[72] para a génese dos migmatitos:

1. formados a partir da injecção de leucossoma granítico no seio de rochas xistentas;
2. formados a partir de "melting" parcial (anatexia); as primeiras fracções de "melt" correspondem a granitóides que constituem o leucossoma; o melanossoma é, normalmente, considerado como sendo a "restite" ou o resíduo refractário a partir do qual os "melts" foram extraídos;
3. criados por diferenciação metamórfica ou crescimento metassomático do leucossoma, sem envolvimento de "melts".

Para além destas recentes tentativas de teorização sobre a génese dos migmatitos, muitas outras foram formuladas ao longo do século passado. Kriegsman (2001) apresenta uma resenha esquemática da generalidade dos modelos explicativos da origem dos migmatitos, ao mesmo tempo que concebe um modelo totalmente novo (figura 18).

[72] No texto original o autor chama-lhes teorias.

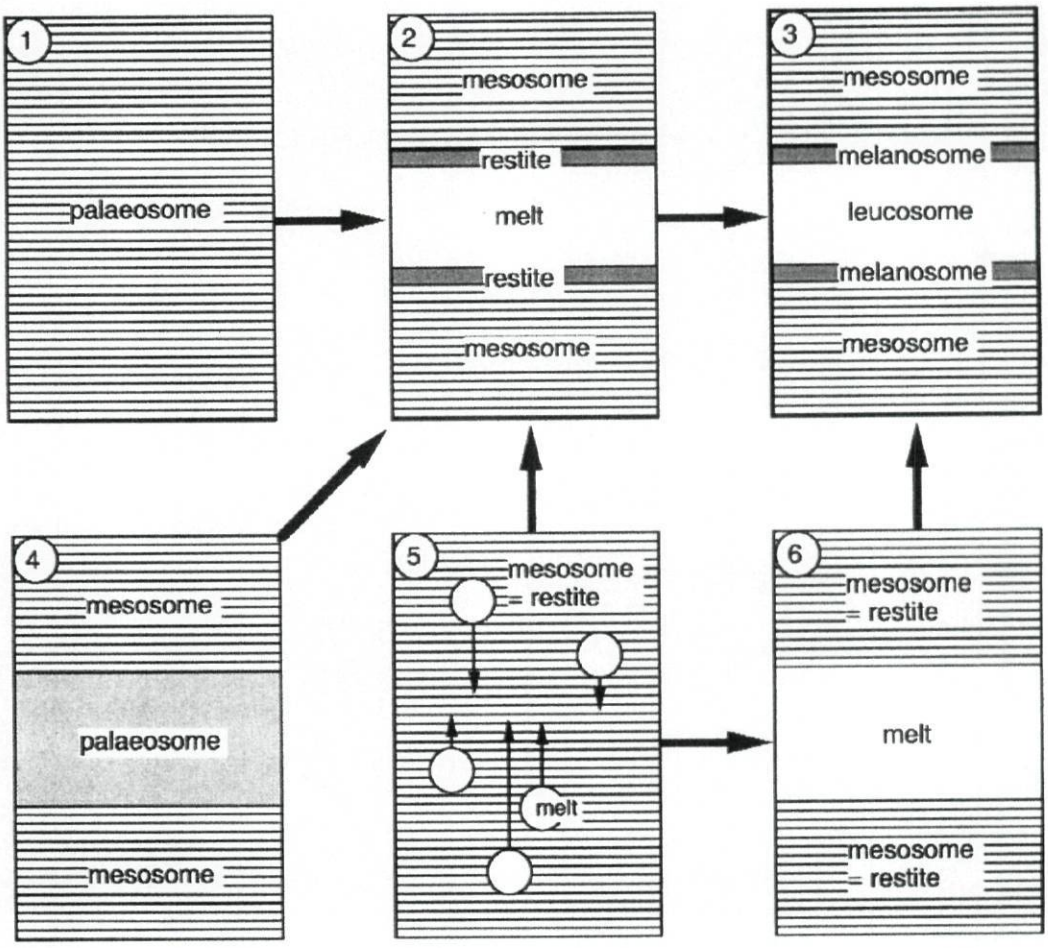


Figura 18 – Representação esquemática dos modelos publicados relativos à génese dos migmatitos e do novo modelo proposto por Kriegsman (Kriegsman, 2001).
3 – camadas de migmatitos observadas
1-2-3 – Modelo de Mehnert (1968), Mehnert e Büsch (1982): paleossoma=mesossoma
4-2-3 – Modelo de Johannes e Gupta (1982), Johannes (1983, 1985, 1988)
5-2-3 – Modelo de Holmquist (1921), Winkler e Von Platen (1961): sem melanossoma
5-6-3 – Novo modelo com reacção retrógrada: melanossoma de origem parcialmente retrógrada

O modelo proposto por Kriegsman resulta da combinação dos elementos chave dos modelos pré-existentes. Os pressupostos subjacentes a este modelo são:

i) todos os elementos texturais do migmatito, incluindo o mesossoma, foram afectados por fusão parcial;

ii) o processo de migmatização comporta-se como um sistema fechado – excepto para a entrada de fluido e para a saída de fluido/"melt";

iii) as reacções retrógradas afectam todos os elementos texturais do migmatito.

Consequentemente, o autor estabelece três fases para a formação dos migmatitos:

I estádio – fusão parcial

protólito → restite (mesossoma) + "melt"

II estádio – segregação parcial do "melt"

III estádio – reacção retrógrada parcial

a) entre

"melt" segregado + restite adjacente → leucossoma + melanossoma

b) entre

restite (mesossoma) e a última porção de "melt" → mesossoma (composição final).

O referido autor esquematiza o seu modelo para a génese dos migmatitos, através de um diagrama (figura 19) no qual é possível identificar os três estádios acima descritos.

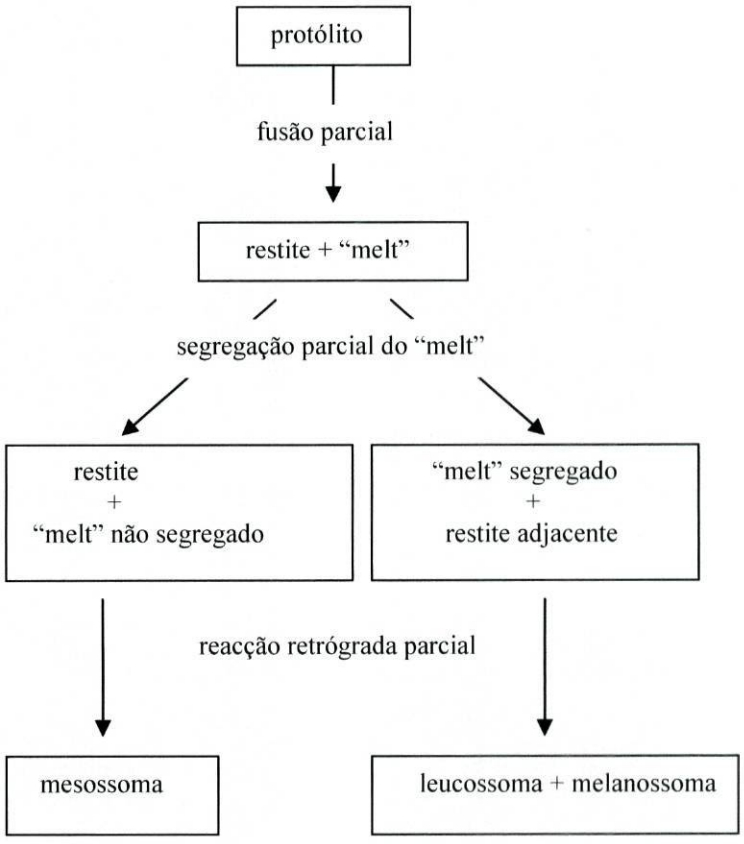


Figura 19 – Diagrama representativo do modelo de três estádios para a génese dos migmatitos em sistema fechado (Kriegsman, 2001).

No modelo de Kriegsman, o terceiro estádio (que se refere a reacções retrógradas) afecta significativamente a porção de restite que está em contacto com o "melt" e em menor escala a generalidade do mesossoma. Esta autor chama, ainda, a atenção para o facto da última porção de "melt" no mesossoma poder cristalizar sem reacção retrógrada. Na figura 20, encontram-se esquematizados os estádios concebidos por Kriegsman.

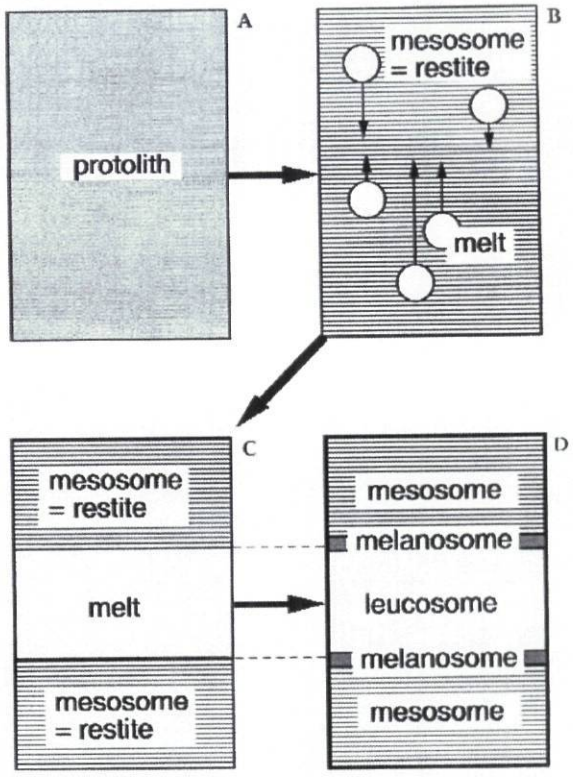


Figura 20 – Modelo de Kriegsman para a génese dos migmatitos num processo que decorre em sistema fechado: avanço da fusão parcial originando restite (mesossoma) e "melt" (A>B); segregação do "melt" e reunião em bandas individualizadas (B>C); reacção retrógrada entre o "melt" *in situ* e a restite adjacente para formar o par leucossoma-melanossoma (C>D) (Kriegsman, 2001).

5. Agudela e Vila Chã: Espaços Geológicos de Aprendizagem

5. Agudela e Vila Chã: Espaços Geológicos de Aprendizagem (EGA)

Ao longo deste capítulo, salientaremos as potencialidades resultantes do aproveitamento didáctico dos afloramentos existentes nos locais identificados em epígrafe. A sua designação como Espaços Geológicos de Aprendizagem (EGA) deve-se ao facto de serem locais com potencial para servir como recurso didáctico para o ensino-aprendizagem da Geologia; para nós, só preenchem este requisito se a sua localização for próxima dos estabelecimentos de ensino ou mesmo no interior da escola.

O nosso "registo" em forma de "inventário" – de litologias, de contactos, de estruturas ... – visa, essencialmente, assinalar a sua existência, a clareza dos aspectos geológicos e o valor didáctico dos mesmos. Não pretendemos estabelecer roteiros ou itinerários, uma vez que o TC passa pela descoberta e deve resultar de planificações que os alunos executem; por outro lado, os alunos serão confrontados com novas situações – *problemas reais de campo* – para as quais terão de idealizar "teorias" e discutir soluções (como preconiza Mateus, 2001 – Tabela 3).

Com a escolha destes locais respeitamos o que Praia e Marques (1997) consideram ser condições a ter em conta para o desenvolvimento de TC:

- aspectos geológicos claros e elucidativos;
- fácil acesso (neste caso, proximidade das escolas, até mesmo num percurso a pé);
- local afastado das vias de comunicação (elevado nível de segurança);
- zona ampla, onde é possível que vários grupos desenvolvam a sua actividade sem constrangimentos de espaço.

As actividades a desenvolver nestes EGA, com alunos dos Ensinos Básico e Secundário, poderão ser:

- manuseamento do mapa topográfico (na escala 1/2000[73]) – páginas 97 e 122;
- manuseamento do mapa geológico (na escala 1/50000);
- identificação das diferentes litologias;
- observação de contactos geológicos;
- medição de atitudes de estruturas geológicas (filões, dobras, diaclases...);
- observação da geomorfologia;
- registo das observações na caderneta de campo;

[73] Base topográfica na escala de 1/2000 gentilmente cedida pelo Instituto da Água, nomeadamente pela Divisão de Ordenamento e Protecção dependente da Direcção de Serviços de Utilização do Domínio Hídrico, estruturas do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.

- representação, à escala, de pormenores do(s) afloramento(s).

O resultado do nosso TC encontra-se traduzido nas transparências que se sobrepõem aos mapas das páginas 97 e 122 e baseou-se na:

a) cartografia litológica – reconhecimento e descrição das rochas;

b) cartografia das estruturas dúcteis (dobras) e frágeis (falhas e diaclases) que afectam as diferentes formações rochosas.

Esta cartografia[74] é o resultado dos seguintes passos:

1) localização no mapa – com a maior precisão;

2) reconhecimento litológico – mediante uma inspecção do local, estabelecendo uma relação da variedade litológica;

3) reconhecimento da composição mineralógica das diferentes litologias – recorrendo à lupa de bolso, identificando minerais (nomeadamente aqueles que se tornam úteis para reconhecer alguma zona metamórfica);

4) observação de texturas e estruturas – registar todos os aspectos, tanto texturais como estruturais que sejam visíveis *in loco*, como por exemplo o tamanho dos grãos, a presença de porfiroblastos, de protólitos (ex.: encraves);

5) classificação das rochas existentes – gnaisses, granitos, migmatitos, …;

6) amostragem – quando realizada deve ser sempre orientada e objecto de registo (com referência às coordenadas do local).

[74] Um dos possíveis documentos a produzir no âmbito do procedimento constante do ponto 6.1. desta dissertação.

5.1. Agudela

A praia da Agudela localiza-se na Folha nº 109 – Lavra (Série M – 888 – Edição 3 – IGE – 1997) da Carta Militar de Portugal, na escala 1:25000, do Instituto Cartográfico do Exército. No respeitante à cartografia geológica a Agudela faz parte da região cartografada na Folha 9-C (Porto), da Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:50000.

Litologias

O reconhecimento das litologias existentes nos afloramentos rochosos do local, conduziu à identificação de dois tipos de granitos, que representam os tipos de rocha mais abundantes (fotografia 1):

- granito de duas micas de grão fino;
- granito de duas micas de grão grosseiro.



Fotografia 1 – Litologias observadas na praia da Aguela: à esquerda – granito de duas micas de grão fino; à direita – granito de duas micas de grão grosseiro; ao centro – granito de duas micas, essencialmente biotítico, de grão médio, que forma encraves no seio do granito de grão grosseiro.

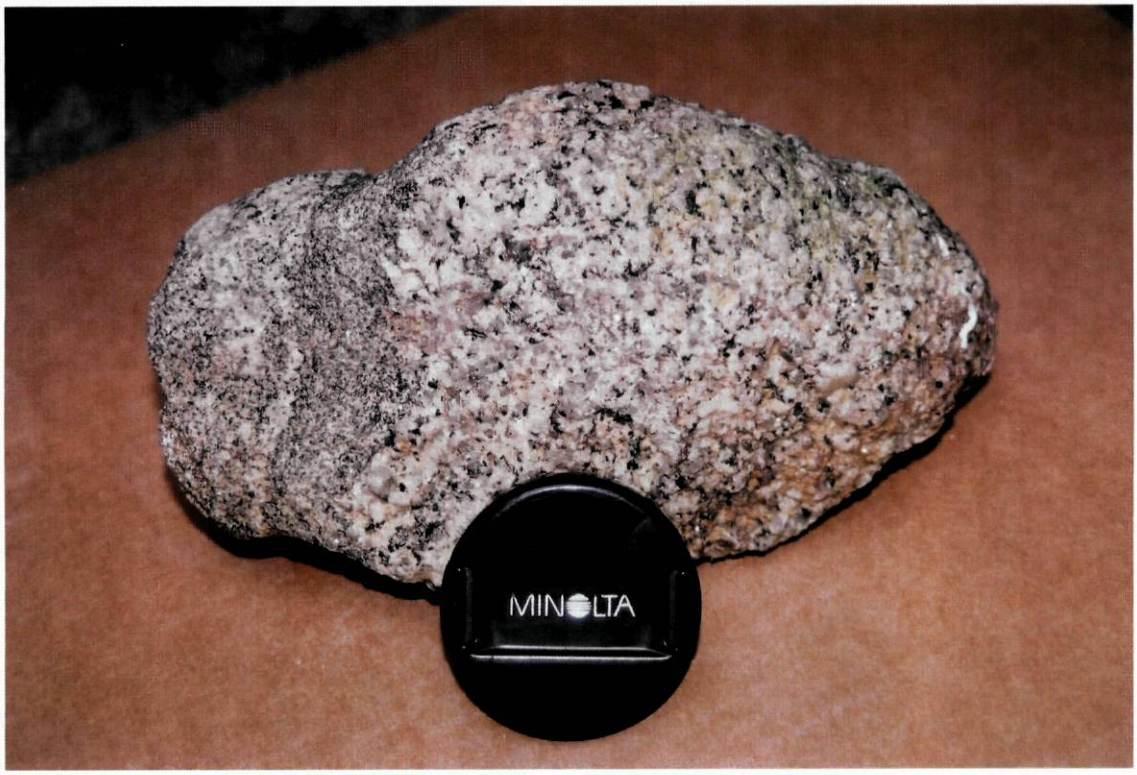
Neste local encontramos um outro tipo de granito – menos representado ao nível do afloramento –, também de duas micas mas essencialmente biotítico, que surge constituindo encraves no seio do granito de grão grosseiro (fotografia 2). Em alguns sectores do EGA da Agudela formam estruturas de fluxo no seio das duas litologias dominantes (figura 21).



Fotografia 2 – Encrave do granito identificado na fotografia 1 ao centro. Esta rocha forma, também, estruturas de fluxo no seio das duas litologias dominantes.

Ao observarmos em pormenor as litologias existentes neste EGA, constatamos que as diferenças registadas no tocante às texturas (fotografia 1 e fotografia 3), acentuam as diferenças relativas à evolução e desenvolvimento da alteração dos afloramentos, condicionando os aspectos relativos à geomorfologia – aspecto que sempre se deve abordar aquando da realização de actividades que envolvam TC.

Associadas aos granitos vindos de descrever, regista-se a ocorrência de outras rochas, tais como, migmatitos (fotografia 6) e pegmatitos – ambos de expressão pouco significativa. Os pegmatitos por vezes estão associados a aplitos em filonetes de espessura milimétrica (figura 22) ou centimétrica, com os cristais de feldspato e de turmalina a atingirem algum desenvolvimento; noutros pontos, afloram constituindo massas lenticulares ou pequenas bolsadas dispersas no seio das litologias graníticas mais representadas no local.



Fotografia 3 – Amostra de mão onde é possível observar as três litologias graníticas, segundo a mesma ordem em que se encontram descritas na fotografia 1.

Ao observarmos a amostra de mão reproduzida na fotografia 3, verificamos que as relações entre litologias ali existentes, se mantêm quer a observação se realize à escala de amostra de mão, quer se realize ao nível do afloramento, ou seja, o granito de grão grosseiro é intrusivo no granito de tendência mais biotítica e com orientação evidente, mostrando, por vezes, contactos graduais, mas genericamente concordantes com a orientação marcada no granito mais biotítico.

Contactos geológicos

Em alguns dos blocos isolados, de granito de grão fino que afloram no meio do areal – mas *in situ* –, bem como em algumas das massas graníticas que constituem a costa rochosa da praia da Agudela, é possível observar uma certa orientação das micas (nomeadamente da biotite), segundo uma direcção que varia entre N110° subvertical e N120° subvertical.

Os contactos (fotografia 4) entre as diferentes litologias identificadas na fotografia 1 evidenciam paralelismo com a orientação das micas (visível a olho nú ou com o auxílio da lupa de bolso).



Fotografia 4 – Bloco rochoso *in situ* onde é possível observar: i) o alinhamento dos cristais de biotite; ii) o paralelismo entre o contacto que se estabelece entre as diferentes litologias e o alinhamento interno definido pela mica.

Neste EGA foram observados, em alguns blocos *in situ*, grandes cristais de feldspato (fotografia 5). Estes cristais, de tendência automórfica[75], orientam-se de tal forma que definem um alinhamento em relação à biotite e aos contactos entre as diferentes litologias já assinalados.

[75] Os cristais automórficos são aqueles que desenvolvem a sua geometria própria aquando da sua formação, por oposição aos cristais xenomórficos que, por ocuparem os espaços disponíveis, não têm possibilidade de adquirir a sua geometria própria.



Fotografia 5 – Bloco rochoso *in situ* onde é possível observar a tendência de alinhamento dos cristais de feldspato, paralelamente à foliação marcada pelas biotites.

Estes factos – alinhamento da biotite, concordância dos contactos com o alinhamento da mica e orientação dos cristais de feldspato segundo a mesma direcção – parecem estar associados a um fluxo magmático condicionado por uma orientação prévia, até porque, macroscopicamente, o granito de grão fino menos biotítico, apresenta uma textura granular com orientação menos marcada.

Na Agudela também é possível observar zonas marcadas por um bandado de diferentes litologias, umas mais biotíticas e com foliação mais evidente (de cor escura) e outras com textura granular mais ou menos grosseira e sem orientação tão evidente (de tom claro). Estas associações de diferentes litologias correspondem a rochas migmatíticas, o que constitui, como já se disse, outra das variedades litológicas pontuais existentes neste EGA. Nesta imagem (fotografia 6), para além do pormenor constituído pelo encrave de granito de grão grosseiro no seio do migmatito, é de salientar o contacto desta última rocha com o granito de grão grosseiro: a zona de contacto é, essencialmente, constuída por feldspato.

Noutros locais da praia da Agudela o contacto entre os dois tipos de granito mais abundantes, revela particularidades importantes para a compreensão do modo como as referidas litologias se originaram e evoluiram no tempo. Reproduz-se na figura 21 um esboço realizado no terreno, em esquema que evidencia o contacto entre o granito de grão grosseiro e o granito de grão fino (este último com marcada orientação). Encontra-se igualmente

reproduzido um pequeno aglomerado de cristais de quartzo, formando uma massa que se destaca no seio do granito de grão fino e cuja orientação do eixo maior dos cristais (no desenho) acompanha a direcção definida pela mica.



Fotografia 6 – Encrave de granito de grão grosseiro envolvido por rocha migmatítica.

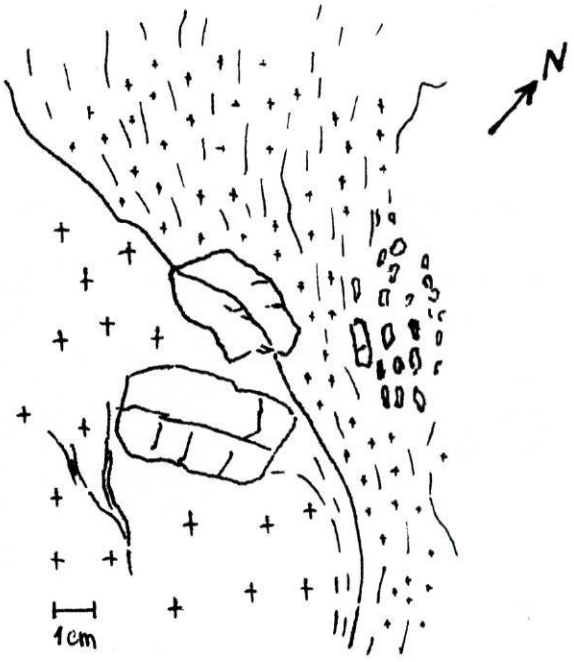


Figura 21 – Contacto entre os granitos de maior representação no EGA da Agudela. No esquema representam-se cristais de quartzo de desenvolvimento centimétrico; um dos cristais localiza-se sobre o contacto entre os dois tipos de granito. O granito de grão fino (+ de menor dimensão) é uma rocha com foliação bem evidente.

A mica – biotite – forma, no seio do granito de grão fino, alinhamentos concordantes com o contacto definido entre os dois granitos e marca a foliação existente no granito de grão fino. A localização de um dos cristais de quartzo precisamente sobre o contacto entre estas litologias poderá significar que a sua cristalização é posterior à existência, lado a lado, do material fundido que esteve na origem daqueles granitos.

Estruturas geológicas

Algumas das estruturas geológicas com potencial didáctico observáveis neste local encontram-se reproduzidas no esquema da figura 22.

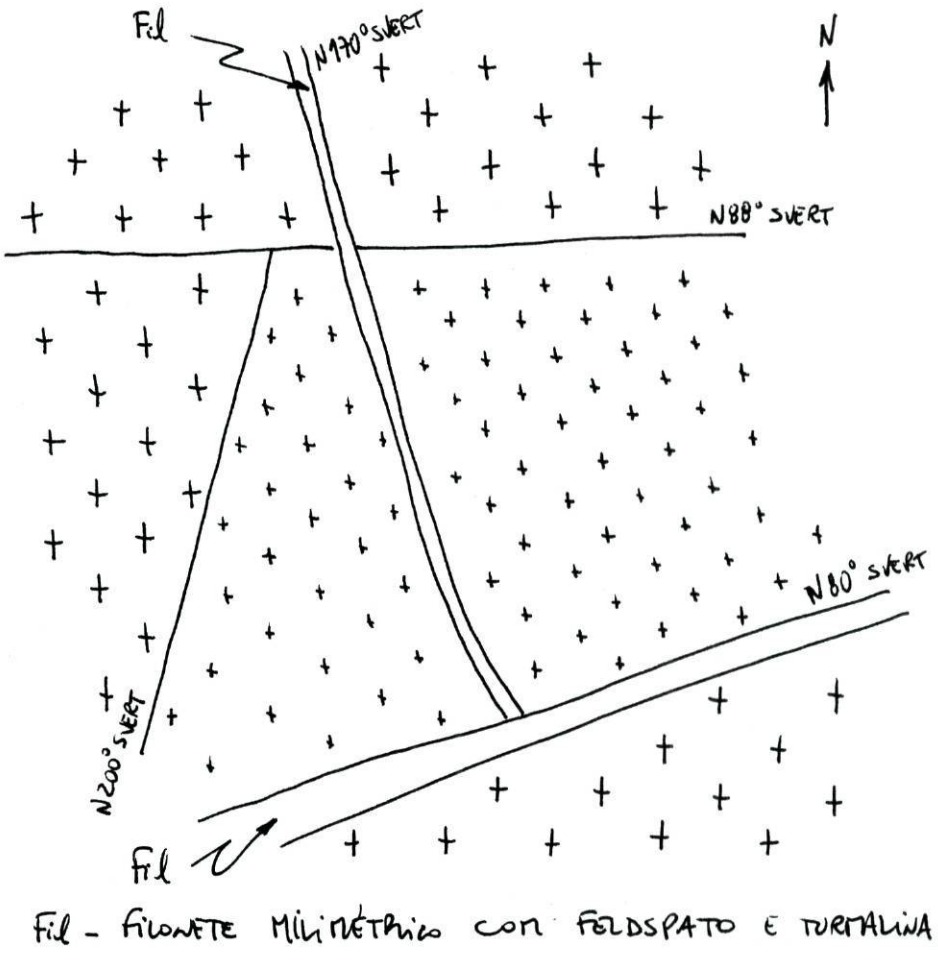


Figura 22 – Contacto entre os dois tipos de granito mais abundantes na praia da Agudela, definidos por diaclases e por filonetes pegmatíticos. O filonete de orientação N170° subvertical corta ambas as litologias.

A observação das relações existentes entre as diaclases e os filonetes de espessura milimétrica, cujo prenchimento é essencialmente de natureza pegmatítica com turmalina e

feldspato muito abundantes, pode constituir-se como um auxiliar para a compreensão das relações cronológicas, que envolvem os processos e produtos geológicos.

O padrão de diaclasamento desenvolve-se, preferencialmente, com orientação definida por N50° subvertical, por N230° subvertical e num plano subhorizontal.

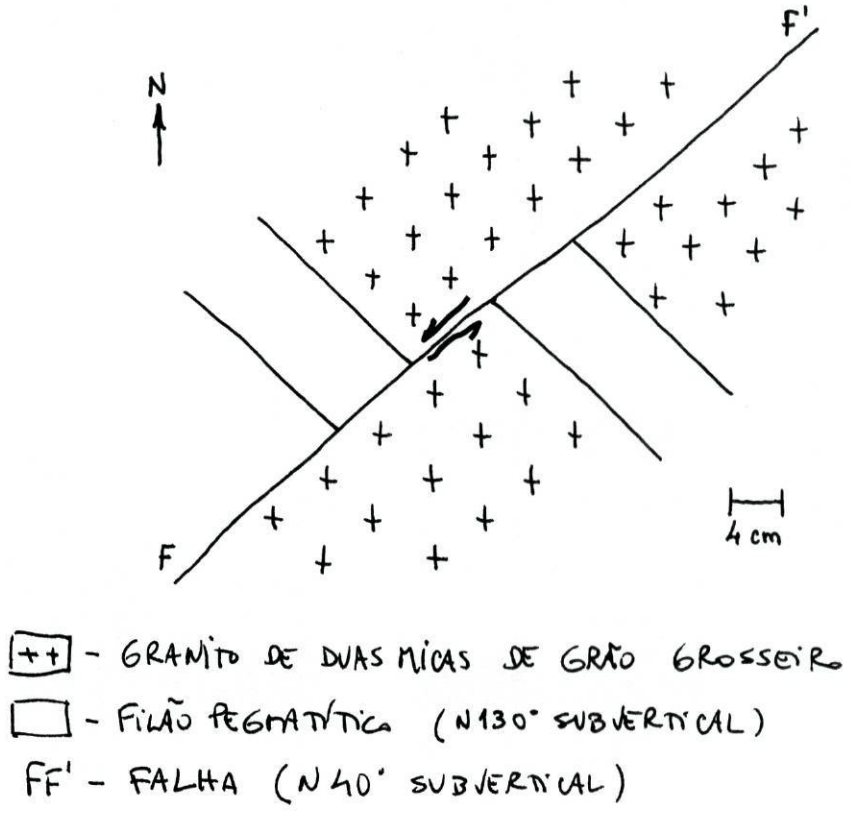


Figura 23 – Representação esquemática de uma falha esquerda (FF') de orientação N40° subvertical, definindo um rejeito que afecta o filão pegmatítico de orientação N130° subvertical.

A falha representada na figura 23, apesar da reduzida dimensão do afloramento, constitui, a exemplo do que já ficou dito a propósito das relações existentes entre os filonetes e as diaclases representados na figura 22, uma oportunidade de aprendizagem das relações cronológicas que envolvem os processos geológicos, cujo domínio é fundamental para a compreensão do factor tempo em Geologia. Esta pequena estrutura de falha permite ainda, por observação do rejeito, avaliar o processo cinemático.

Estudo petrográfico

A fim de complementar as observações realizadas no EGA da Agudela, foi colhida uma amostra (figura 24) no bloco representado na fotografia 4, localizado no bordo Norte do mapa da página 97. Desta forma, através do estudo petrográfico em lâmina delgada, nomeadamente, dos aglomerados biotíticos, de orientação muito marcada e visíveis a olho nú, poder-se-ão equacionar cenários para a identificação das condições de génese desta rocha.

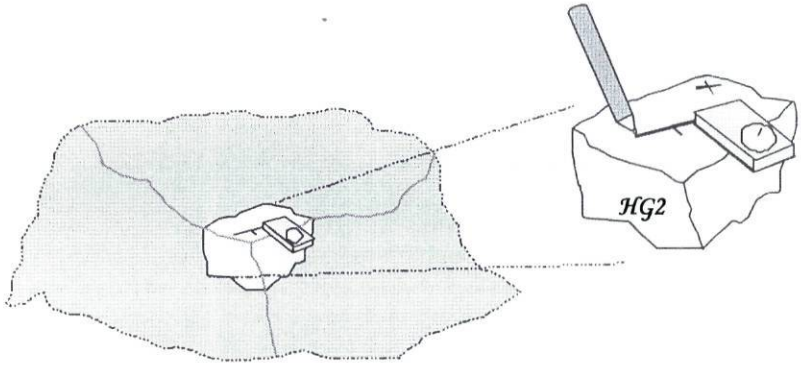


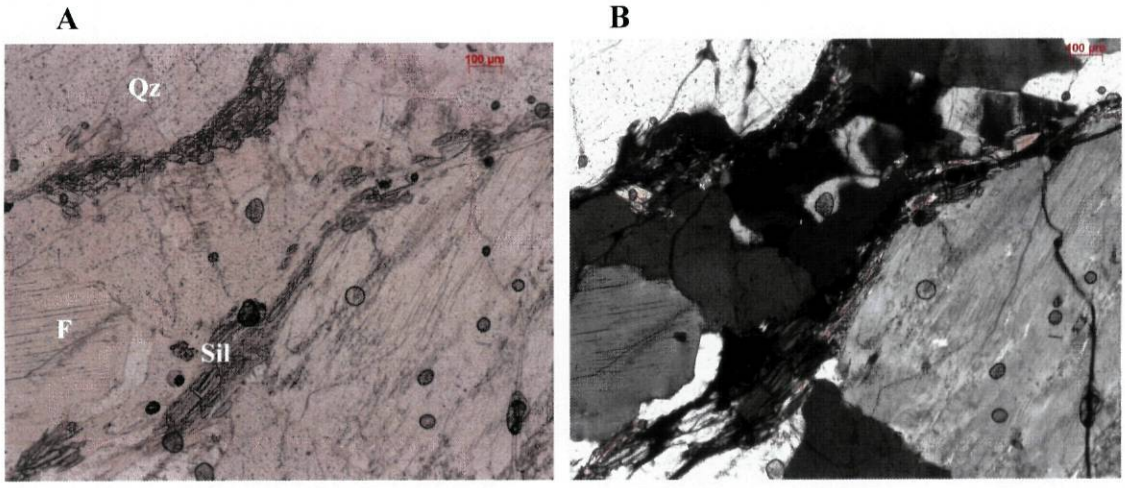
Figura 24 – Esquema representativo da amostragem efectuada sobre o bloco reproduzido na fotografia 4.



Fotografia 7 – Amostra HG2 evidenciando a alternância de zonas de textura ígnea e zonas de textura metamórfica. A circunferência vermelha assinala o local, desta amostra de mão, onde foi realizado o corte para a montagem da lâmina delgada.

O estudo petrográfico que a seguir se apresenta foi realizado em lâmina delgada, preparada a partir da zona assinalada na fotografia 7 com a circunferência vermelha. A amostra patenteia o mesmo tipo de estruturas que são observáveis à escala de afloramento, isto é, a alternância entre zonas de textura ígnea e zonas de textura metamórfica (definidas pelo alinhamento da mica – biotite).

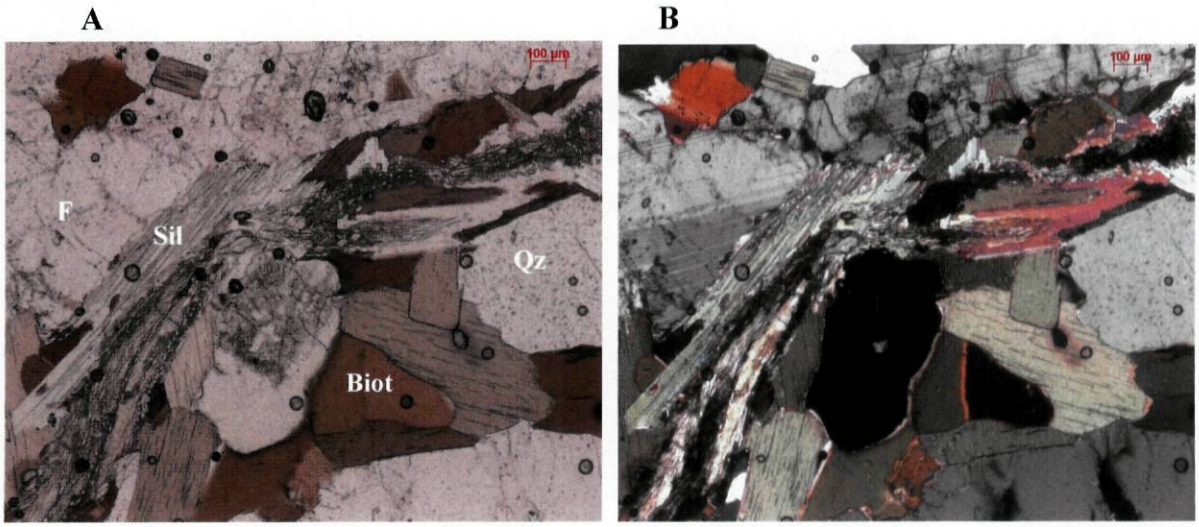
A observação ao microscópico polarizante permitiu o estudo petrográfico da rocha, nomeadamente os minerais que a constituem, as microestruturas e outras características. O aspecto que se salienta na fotografia 8 (A e B) é o mesmo que se referiu no parágrafo anterior, isto é, a alternância entre zonas de textura ígnea e zonas de textura metamórfica, aqui numa escala microscópica.



Fotografia 8 – Amostra HG2 observada em lâmina delgada. A imagem documenta a alternância de zonas de textura ígnea e zonas de textura metamórfica, à escala microscópica. A – Luz natural; B – Luz polarizada. [Legenda: Sil – silimanite; Qz – quartzo; F – feldspato]

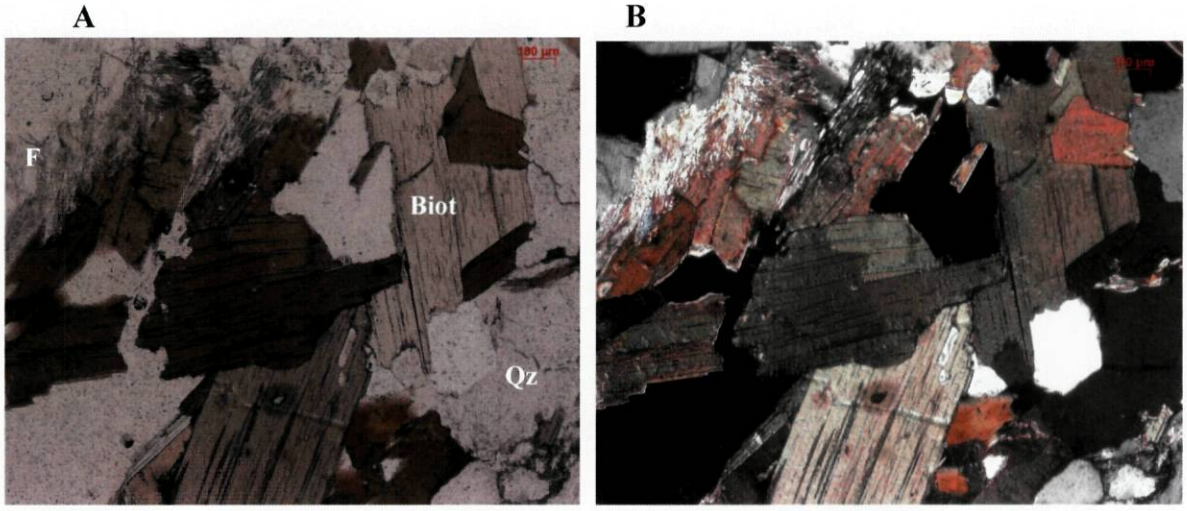
Na zona de textura ígnea observam-se cristais de feldspato e de quartzo; na zona de textura metamórfica observa-se um alinhamento de cristais de silimanite + moscovite. Numa outra zona da mesma lâmina delgada (fotografia 9 – A e B), para além dos minerais já referidos existe, ainda, biotite. Estes cristais não apresentam nenhuma orientação preferencial, ao contrário da silimanite que forma uma faixa de marcada orientação (visível nas fotografias 8 e 9).

Como a biotite apresenta cristais que evidenciam um crescimento sem orientação preferencial, podemos sugerir que o processo que a originou foi distinto daquele que esteve na génese da silimanite. A parte ígnea da rocha em observação nas fotografias 8 e 9 – constituída essencialmente por quartzo e feldspato – respeita a uma textura granular não orientada.



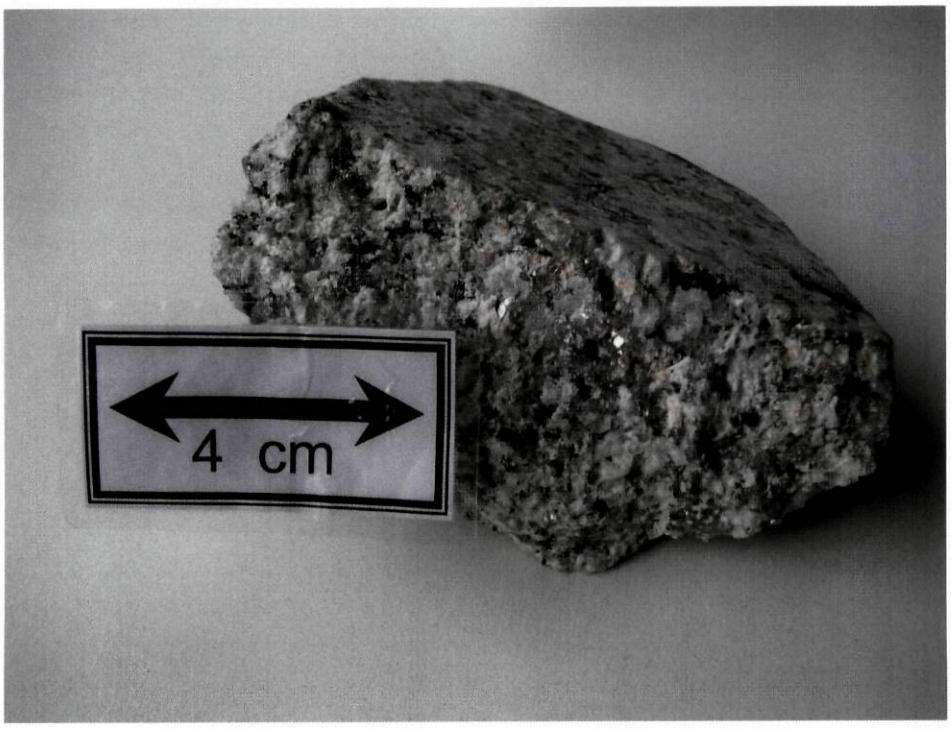
Fotografia 9 – Amostra HG2 observada em lâmina delgada. A imagem documenta a coexistência na mesma rocha de minerais provenientes de processos geológicos diferentes. A – Luz natural; B – Luz polarizada. [Legenda: Sil – silimanite; Qz – quartzo; F – feldspato; Biot - biotite]

Na fotografia 10 (A e B) observam-se em pormenor alguns cristais de biotite presentes na amostra que temos vindo a observar. Naquelas imagens é patente a ausência de orientação dos referidos cristais. O cristal de biotite que ocupa a zona central da imagem, apresenta uma flexura, situação observável mesmo com luz natural (fotografia 10A), dado que é visível, naquele cristal, uma diferença de pleocroísmo.



Fotografia 10 – Amostra HG2 observada em lâmina delgada. A imagem documenta a existência de um cristal de biotite (ao centro da imagem) com uma flexura – situação que se observa em ambas as imagens. A – Luz natural; B – Luz polarizada. [Legenda: Qz – quartzo; F – feldspato; Biot - biotite]

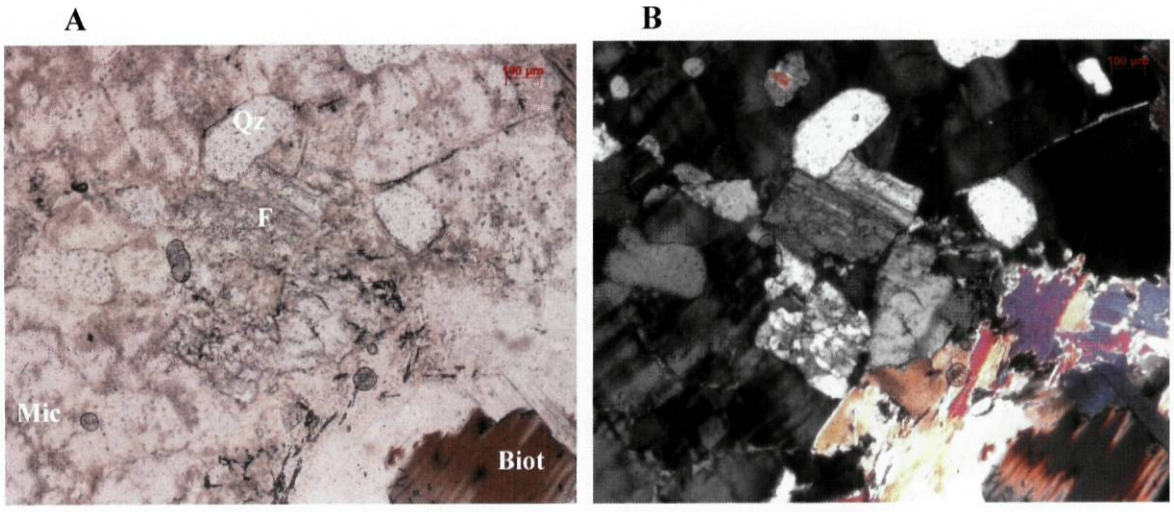
A exemplo do que ocorreu relativamente à amostra documentada na fotografia 7, também se realizou um estudo petrográfico em lâmina delgada preparada a partir da amostra de mão reproduzida na fotografia 11 (amostra AG2).



Fotografia 11 – Amostra AG2 de manifesta textura ígnea, correspondendo a um granito de duas micas de grão grosseiro.

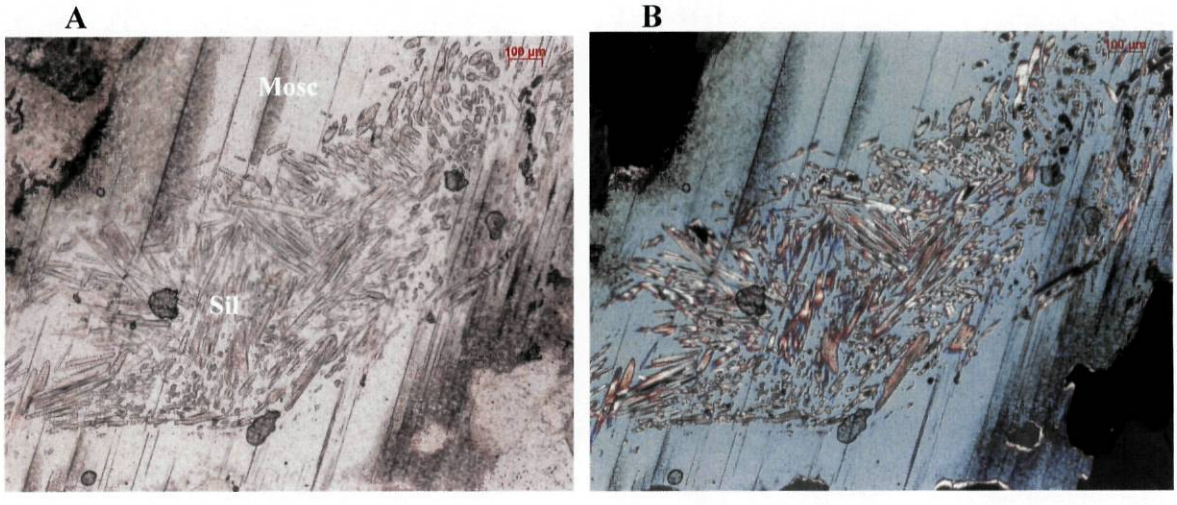
Como é patente na imagem, trata-se de um granito de duas micas de grão grosseiro de textura ígnea franca. As observações realizadas ao microscópio petrográfico – que adiante se documentam – confirmam o que é possível constatar numa observação à vista desarmada ou com o auxílio de uma lupa de bolso: trata-se de uma rocha sem orientação.

Na fotografia 12 (A e B) observa-se, agora a uma escala mais reduzida, o carácter granular da textura deste granito. Verifica-se a existência de uma textura heterogranular não orientada, onde são visíveis grandes cristais de microclina (identificada como Mic na fotografia 12 A). O carácter granular (heterogranular, dadas as dimensões dos diferentes minerais), é mais facilmente observável na imagem em que foi utilizada a luz polarizada (fotografia 12 B).



Fotografia 12 – Amostra AG2 observada em lâmina delgada. A imagem documenta a existência de grandes cristais de microclina. A – Luz natural; B – Luz polarizada. [Legenda: Qz – quartzo; F – feldspato; Biot – biotite; Mic - microclina]

Tratando-se de um granito de duas micas e estando a biotite já representada na fotografia 12, reproduz-se na fotografia 13 (A e B) a moscovite (ali identificada como Mosc), que apresenta silimanite (Sil) inclusa. Esta ocorrência dos referidos minerais leva a considerar que o crescimento da moscovite foi posterior, acabando por envolver a silimanite pré-existente.



Fotografia 13 – Amostra AG2 observada em lâmina delgada. Nesta imagem apresenta-se um grande cristal de moscovite com silimanite inclusa. A – Luz natural; B – Luz polarizada. [Legenda: Mosc – moscovite; Sil - silimanite]

Proposta de actividade

No EGA da Agudela encontramos as condições ideais para introduzir e utilizar os meios de referência cartográfica a que alude Mateus (2001) na sua proposta de metodologia de implementação de TC no ensino da Geologia (tabela 3). Na actividade que aqui propomos – a qual pode ser realizada em qualquer parte, inclusivé nos espaços naturais existentes no interior da escola (ou na proximidade desta) – pretendemos dar significado à cartografia, enquanto representação do real. Convictos de que uma carta topográfica ou geológica constitui um documento complexo, que na maior parte dos casos se revela ilegível e indecifrável para a generalidade dos nossos alunos, torna-se fundamental permitir-lhes uma abordagem simples da cartografia que os prepare para a compreensão da mesma.

De acordo com Mateus (2002) o valor cognitivo das abordagens que se podem fazer, no âmbito da Cartografia, assentam em quatro aspectos básicos, a saber: 1) localização e referenciação; 2) representação bidimensional do globo; 3) orientação e medição; 4) linguagem simbólica. Neste caso concreto, a representação cartográfica a realizar não levará em linha de conta as cotas do pequeno afloramento a cartografar, pelo que o "mapa" a produzir representará a realidade de forma bidimensional. A terceira dimensão – altura – poderá ser introduzida se os destinatários da actividade o planearem.

Com a organização de uma actividade desta natureza pretendemos:

- assegurar a compreensão da lógica da representação cartográfica segundo paralelos e meridianos (sistema de coordenadas);
- desenvolver a capacidade de representação do real no respeito pelas dimensões do objecto em estudo (escala);
- promover a utilização de uma linguagem simbólica específica da geologia (legenda).

Materiais (para o trabalho no terreno):

- 4 estacas
- elástico fino (várias dezenas de metros – dependente da dimensão do afloramento a cartografar)
- fita métrica
- papel milimétrico
- lápis
- borracha
- marreta ou martelo

- bússola

Materiais (para o trabalho na sala de aula):

- papel vegetal*
- lápis de cor*

* Se o estabelecimento de ensino tiver recursos informáticos (PC e *scanner*) poder-se-á recorrer a um vulgar processador de texto para reproduzir o levantamento efectuado sobre o papel milimétrico, previamente digitalizado.

Instruções:

1) Colocar as estacas alinhadas e orientadas segundo as direcções N-S e E-W (fotografia 14), a uma distância tal que permita a definição de uma quadrícula onde os pequenos quadrados possuam, por exemplo, 25 cm de lado (ver figura 25)
2) Utilizar o elástico para definir as quatro linhas exteriores do caixilho
3) Construir uma quadrícula, usando o elástico e a fita métrica
4) Reproduzir no papel milimétrico, a uma escala previamente definida, a quadrícula feita no terreno
5) Reproduzir no papel milimétrico os contornos do objecto a cartografar, bem como outras especificidades dignas de registo (diferenças na litologia, por exemplo), respeitando, no esquema, o posicionamento do objecto relativamente à quadrícula
6) Desenhar no papel vegetal o esquema efectuado sobre o papel milimétrico
7) Acrescentar os elementos relativos à legenda, à escala e às coordenadas (para níveis mais avançados poder-se-á estabelecer uma relação com uma carta topográfica da região)



Fotografia 14 – Aspecto da montagem do reticulado (com estacas metálicas e elástico) para definir uma quadrícula de 25 cm de lado, a fim de proceder ao "levantamento cartográfico" de um bloco de granito na praia da Agudela.

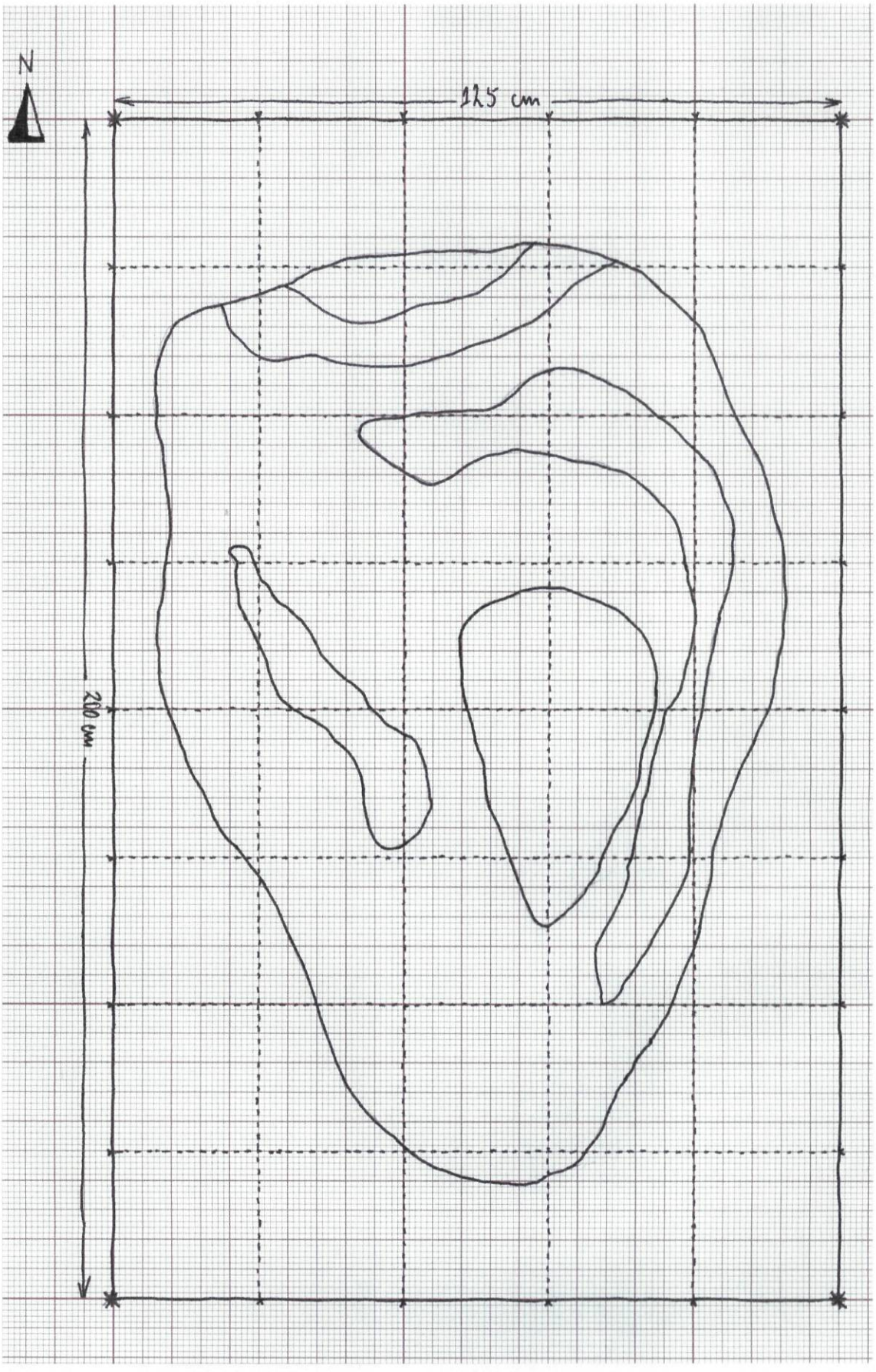
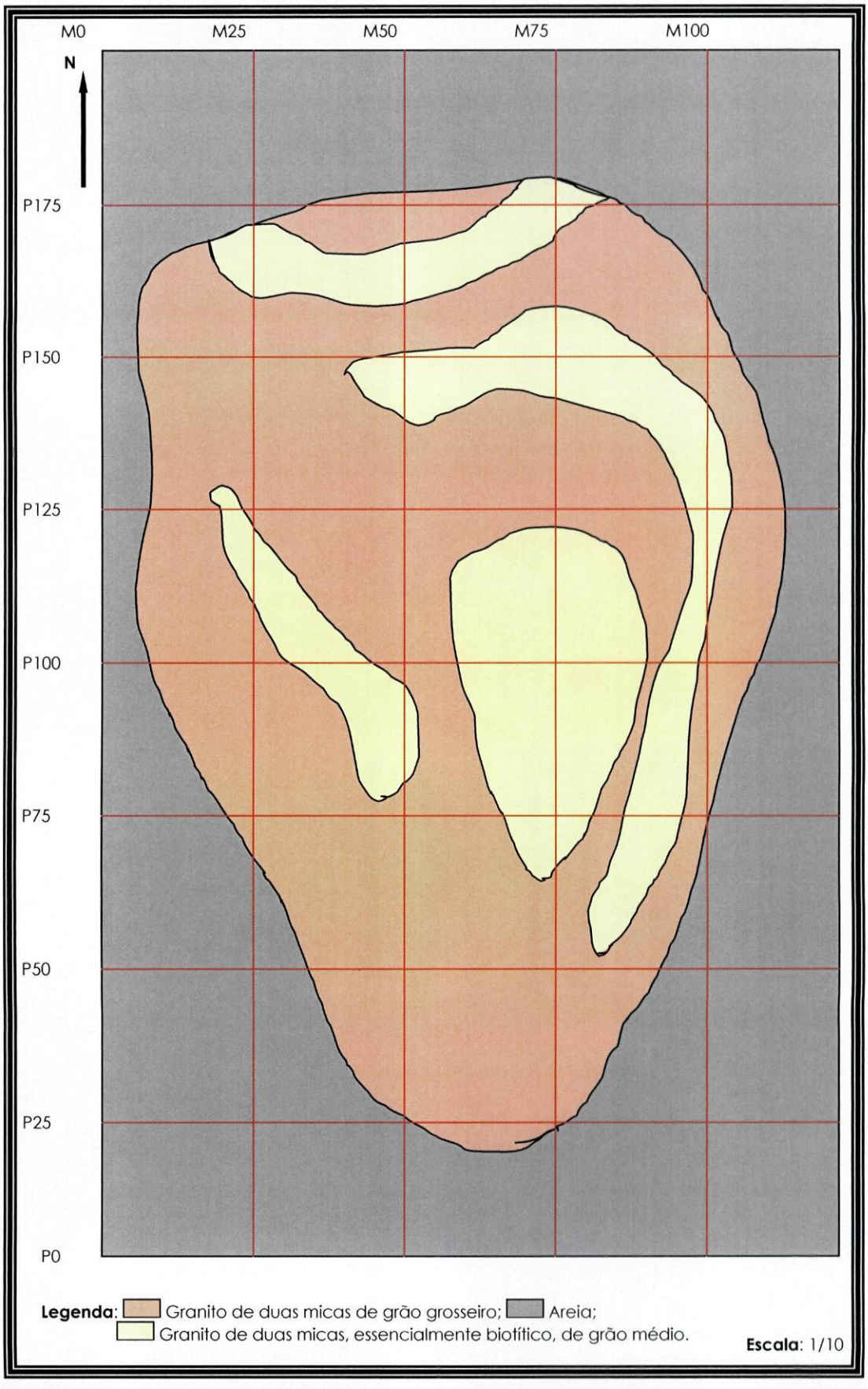
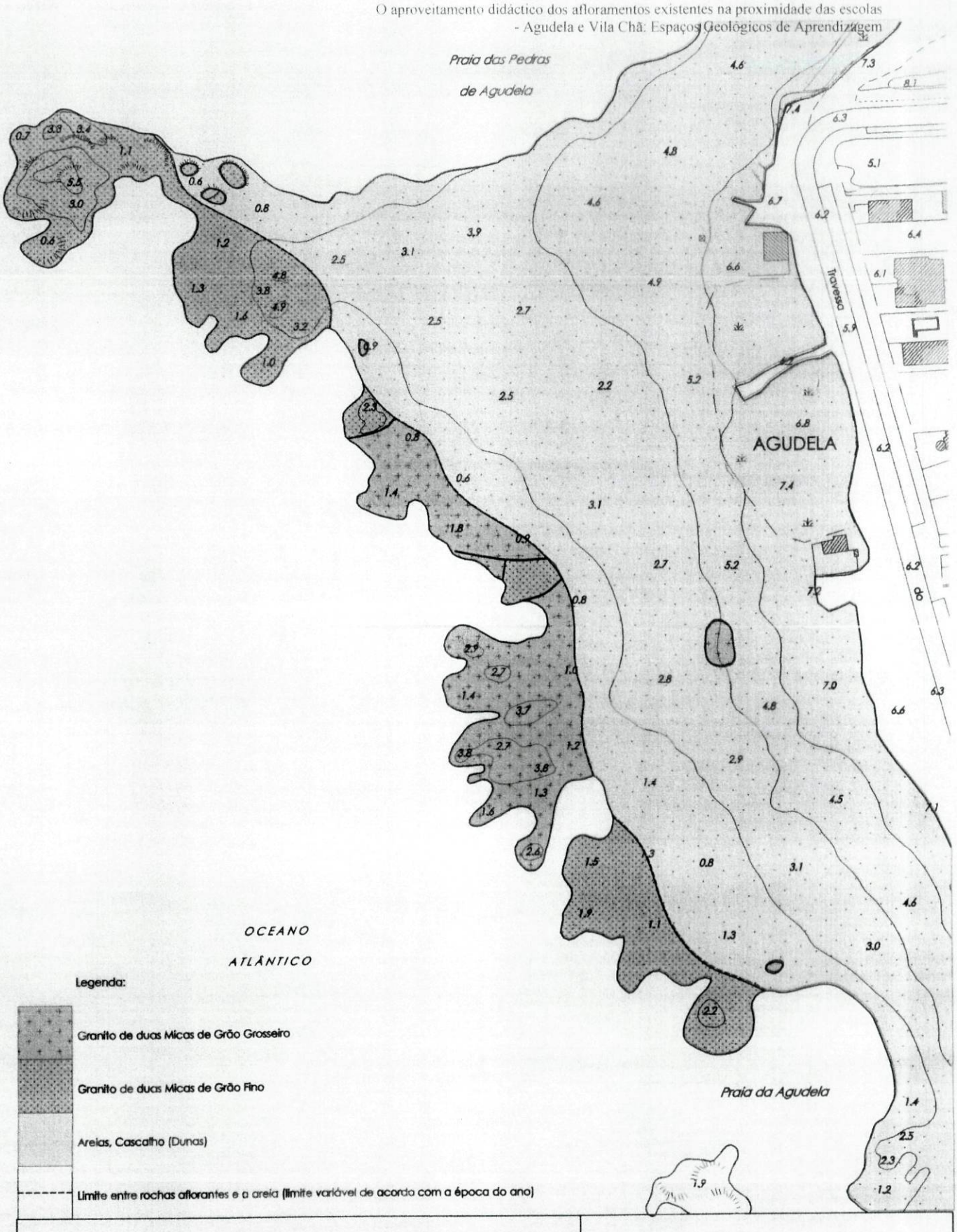
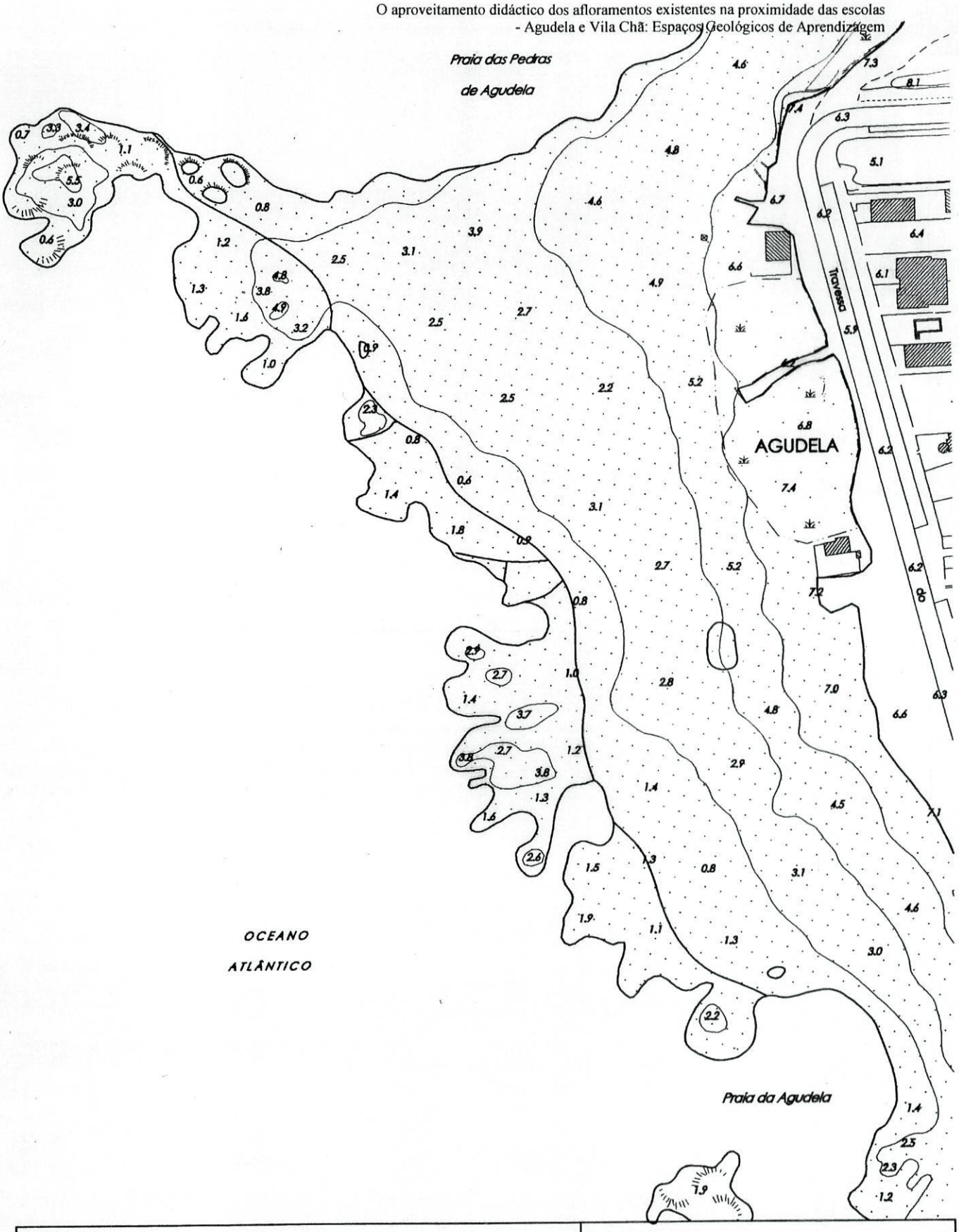


Figura 25 – Levantamento de campo realizado à escala de 1/10, reproduzindo um pequeno bloco de granito, provavelmente *in situ*, de reduzidas dimensões (areal da praia da Agudela).

"Mapa" realizado sobre o desenho da figura 25




Praia das Pedras
de Agudela
AGUDELA
Travessa
OCEANO
ATLÂNTICO
Praia da Agudela
Legenda:
Granito de duas Micas de Grão Grosseiro
Granito de duas Micas de Grão Fino
Areias, Cascalho (Dunas)
Limite entre rochas aflorantes e a areia (limite variável de acordo com a época do ano)
escala 1/2000
100m
0m
100m
MINISTÉRIO DO AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO
Direcção de Serviços de Utilizações do Domínio Hídrico
Divisão de Ordenamento e Protecção
INSTITUTO
DA ÁGUA
EGA DA AGUDELA
Praia da Agudela
CONCELHO: Matosinhos
FREG: Lavra



escala 1/2000

100m 0m 100m

MINISTÉRIO DO AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Direcção de Serviços de Utilizações do Domínio Hídrico

Divisão de Ordenamento e Protecção

INSTITUTO DA ÁGUA

EGA DA AGUDELA

Praia da Agudela

CONCELHO: Matosinhos

FREG: Lavra

5.2. Vila Chã

A praia de Vila Chã localiza-se na Folha nº 96 – Vila do Conde (Série M – 888 – Edição 3 – IGE – 1997), da Carta Militar de Portugal, na escala 1:25000, do Instituto Cartográfico do Exército. No respeitante à cartografia geológica a Vila Chã faz parte da região cartografada na Folha 9-A (Póvoa de Varzim), da Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:50000.

Litologias

O reconhecimento das litologias existentes nos afloramentos rochosos do local, conduziu à identificação de vários tipos de rocha:

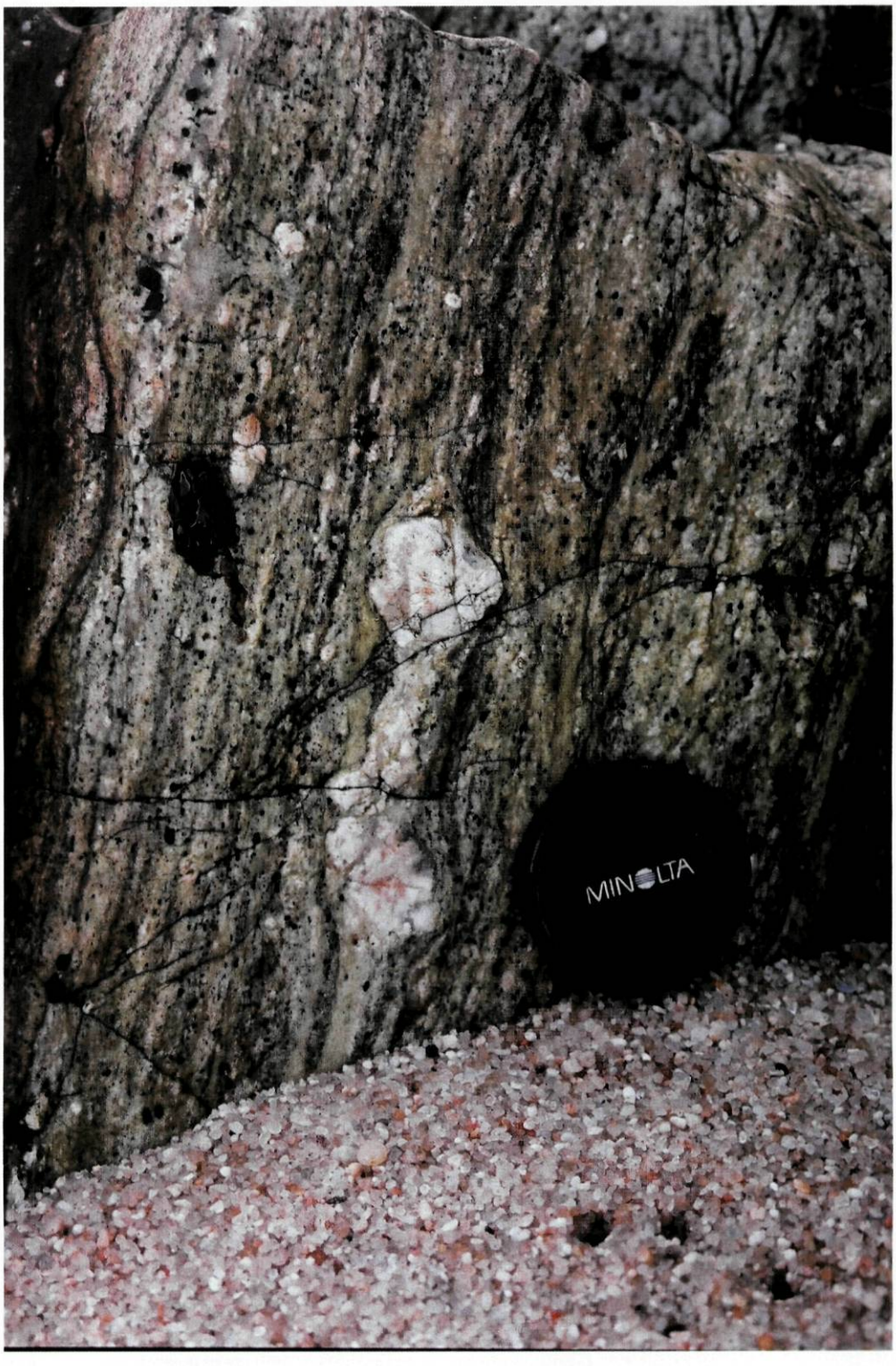
- migmatitos;
- granito de duas micas, essencialmente moscovítico, de grão fino;
- granito de duas micas, predominantemente biotite, de grão fino a muito fino;
- granito de duas micas de grão grosseiro;
- aplitos, pegmatitos e aplito-pegmatitos;
- gnaisses;
- rochas calcossilicatadas (encraves);
- tectonito.

O EGA de Vila Chã apresenta um elevado número de afloramentos onde, em áreas de reduzidas dimensões, se concentra uma grande variedade litológica, assim como conjuntos de estruturas de grande valor didáctico. Na fotografia 15 são observáveis algumas das litologias presentes no local, sendo oportuno salientar o migmatito, uma vez que na imagem se observa (tal como se descreveu na revisão bibliográfica) uma rocha megascopicamente compósita, constituída por duas ou mais partes petrograficamente distintas, isto é, zonas escuras com características de rocha metamórfica e zonas claras de aparência ígnea.



Fotografia 15 – Algumas das litologias mais abundantes no litoral rochoso da praia de Vila Chã. Da base para o topo: A) granito de duas micas de grão grosseiro; B) granito de duas micas, predominantemente biotítico, de grão fino a muito fino; C) migmatito (estromatito) – zona onde é mais abundante o melanossoma; D) migmatito (estromatito) – zona onde é mais abundante o leucossoma.

Na fotografia 16 observa-se um tectonito, ou seja, uma rocha cuja reorganização metamórfica foi, essencilamente, devida à deformação, acompanhada de pouca, ou nenhuma, recristalização.



Fotografia 16 – Pormenor de cristais de quartzo num tectonito de textura milonítica, presente numa caixa de falha de atitude N34° 28°NE (plano da foto N11° subvertical).



Fotografia 17 – Filão pegmatítico de atitude N30° subvertical.

O filão pegmatítico reproduzido na fotografia 17 intersecta uma massa granítica – de grão fino e abundante biotite; na sua constituição identificam-se, claramente, quartzo, feldspato (branco a róseo), turmalina e placas de moscovite.



Fotografia 18 – Encrave de corneana em migmatito. Estes encraves têm no núcleo uma composição calcossilicatada e na parte mais exterior assumem composição quartzo-biotítica ainda com alguns minerais calcossilicatados.

Os encraves a que respeita a fotografia 18 correspondem aos núcleos de forma ovóide descritos no capítulo 3. Estes núcleos aparecem descritos pelos autores citados no referido capítulo, como tendo *fácies corneana*. O aspecto resultante da alteração da zona mais interior de alguns destes encraves de forma ovóide, indicia um quimismo calcossilicatado. A composição mineralógica calcossilicatada foi confirmada pelo estudo petrográfico efectuado.

Contactos geológicos

Os migmatitos constituem, em toda esta faixa costeira, a litologia dominante. Esta rocha apresenta-se entrecortada por vários tipos de filões; uns, idênticos ao representado na fotografia 19, outros, de natureza pegmatítica (fotografia 17 e figura 27).



Fotografia 19 – Filão granítico de grão fino que se instalou na zona de contacto entre o migmatito (à esquerda na fotografia) e um gnaisse (à direita na fotografia). O dobramento patenteado pelo bandado do migmatito é concordante com o dobramento do filão.

O contacto entre o migmatito e o gnaisse (fotografia 19), enquanto descontinuidade, permitiu a instalação do filão granítico. Noutros locais do EGA de Vila Chã é possível

observar em contacto com o migmatito – uma vez que se trata da litologia mais abundante – rochas de outra natureza, como por exemplo, pegmatitos (fotografia 20).



Fotografia 20 – Zona de contacto entre migmatito (à esquerda na fotografia) e pegmatito (à direita na fotografia).

Estruturas geológicas

Na figura 26 representa-se, numa perspectiva para N, um filão granítico, discordante relativamente à foliação definida pelos leitos de diferente composição mineralógica do migmatito e de um encrave de cornenana. O granito constituinte do filão ali representado é de duas micas e de grão fino. A diferença de competência existente entre as litologias atravessadas pelo granito – migmatito e encrave – determinou a fracturação múltipla do filão quando este atravessou material mais competente – o encrave de corneana.

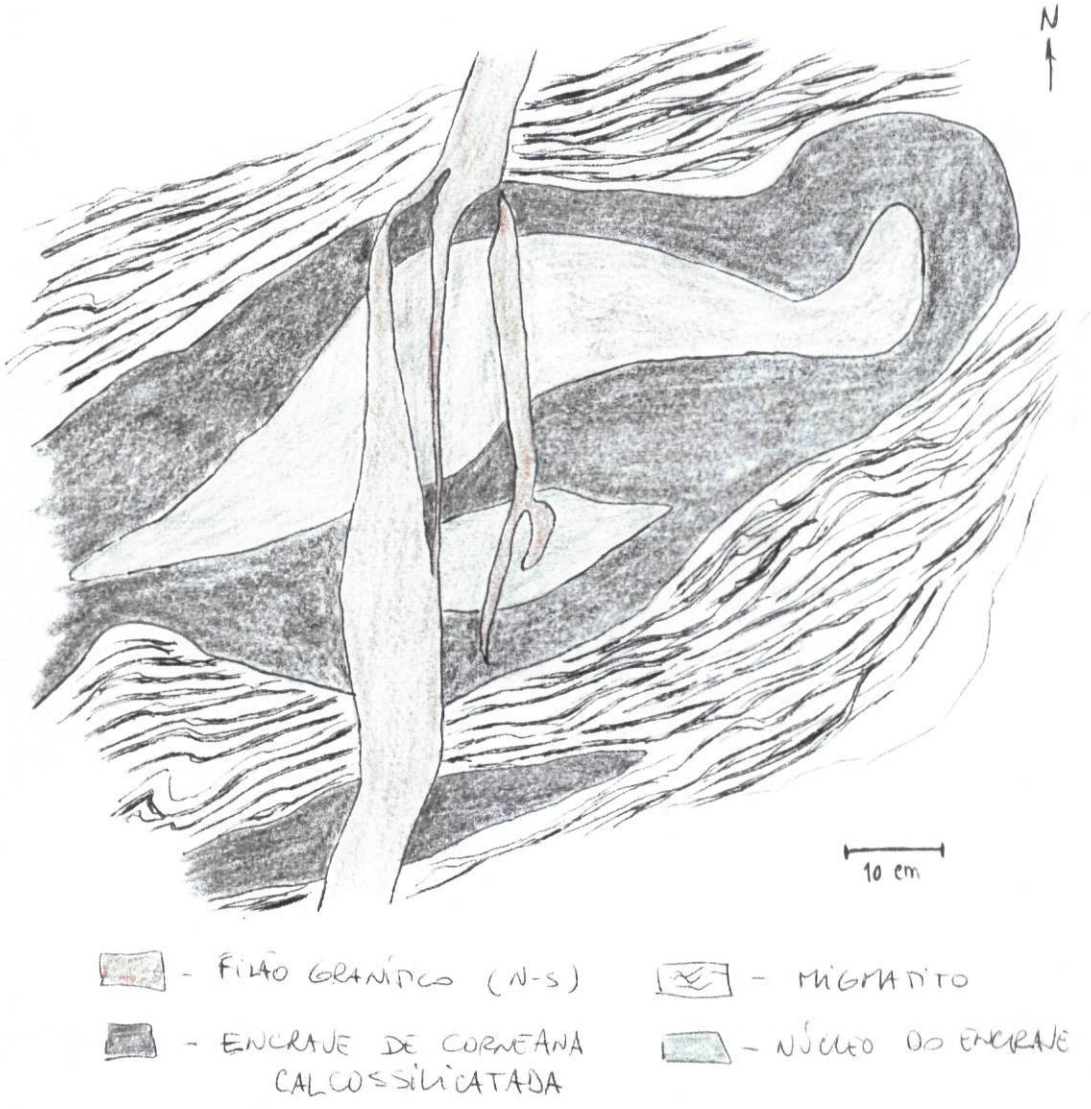


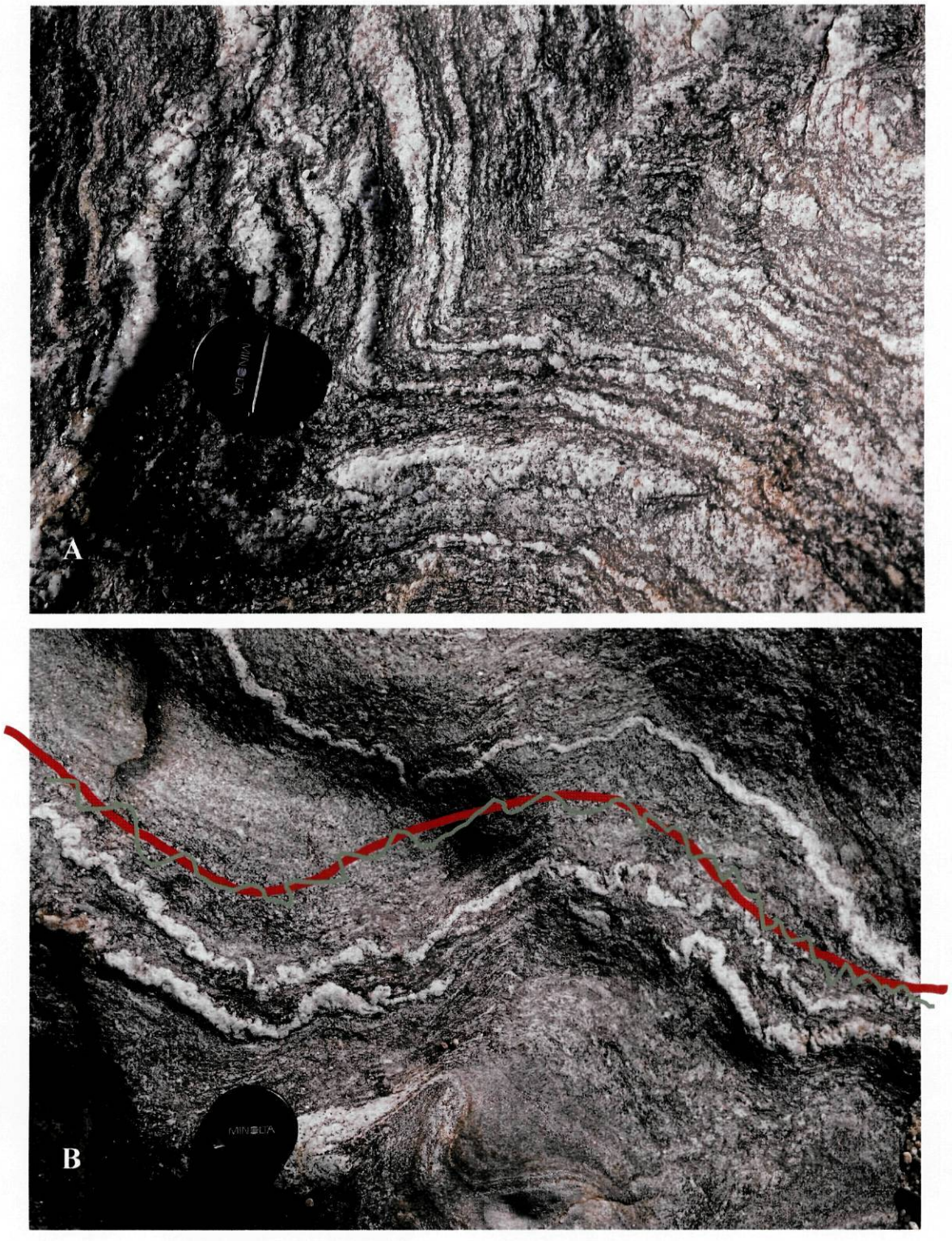
Figura 26 – Filão granítico de atitude média N-S, numa perspectiva para N. O filão possui desenvolvimento discordante relativamente à foliação do migmatito e à estruturação interna do encrave de corneana, que é subconcordante com a foliação patenteada pelo migmatito.

Outra característica observável nos filões pegmatíticos é o seu grande desenvolvimento (figura 27), tanto em largura – em alguns pontos do EGA de Vila Chã chegam a atingir 50 cm – como em comprimento – atingindo várias dezenas de metros. Tal como referimos anteriormente, o desenvolvimento dos cristais presentes nestas estruturas geológicas atinge, em alguns casos, proporções centimétricas, nomeadamente os cristais de feldspato potássico.



Figura 27 – Bloco diagrama de um filão pegmatítico de atitude N30°W subvertical localizado na costa rochosa da Vila Chã.

No elenco de estruturas observáveis nesta região do litoral rochoso consta, também, um elevado número de estruturas dobradas. Neste conjunto particular das estruturas geológicas destacam-se as dobras (fotografias 19, 21 e 22) e as dobras-falha (fotografia 22 e figura 29).



Fotografia 21 (A e B) – Dobras ptigmáticas em migmatito, com paralelismo dos níveis do leucossoma mais possantes em relação a um dobramento de primeira grandeza (_____), que não se regista nas dobras menores (_____).

As dobras ptigmáticas (fotografia 21 – A e B) caracterizam-se pela ausência de relação entre a espessura do material dobrado e a charneira e os flancos das dobras, bem como pela inexistência de planos de cisalhamento. São dobras mesoscópicas comuns em dobramentos de níveis quartzo-feldspáticos (leucossoma) dos migmatitos, uma vez que sendo estes níveis

mais competentes e estando encerrados numa matriz de menor competência (melanossoma e mesossoma), são o produto de um processo complexo de deformação.

Os dobramentos existentes no EGA de Vila Chã atingem, em alguns locais, os núcleos dos encraves. A avaliar pela existência de produtos finais como o que se encontra reproduzido na fotografia 22, este processo actuou de forma intensa, quer em regime dúctil, quer em regime dúctil-frágil, uma vez que se observam dobras-falha (figura 29).



Fotografia 22 – Dobras (D_A e D_B) e dobra-falha (moldura amarela). A disposição espacial da dobra D_A é tal que permitiu a recolha de elementos relativos à atitude do seu eixo: 50° → N350°.

No esquema da figura 28 reproduz-se a dobra identificada na fotografia 22 como D_A, dando especial relevo ao eixo e ao plano axial.

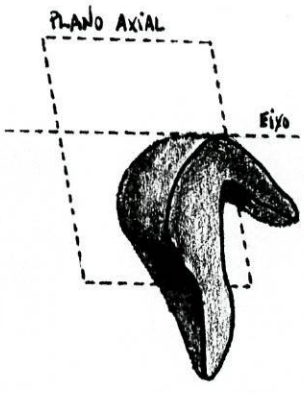


Figura 28 – Esquema representativo da dobra D_A existente no núcleo do encrave. Eixo: 50° → N350°.

A reconstituição do processo que conduziu ao produto representado na fotografia 22 encontra-se esquematizada na figura 29. As imagens estão colocadas, na figura, de forma sequencial, tentando reconstituir a sucessão de episódios – do mais recente (actual) para o mais antigo – que terá conduzido à situação documentada na referida fotografia.

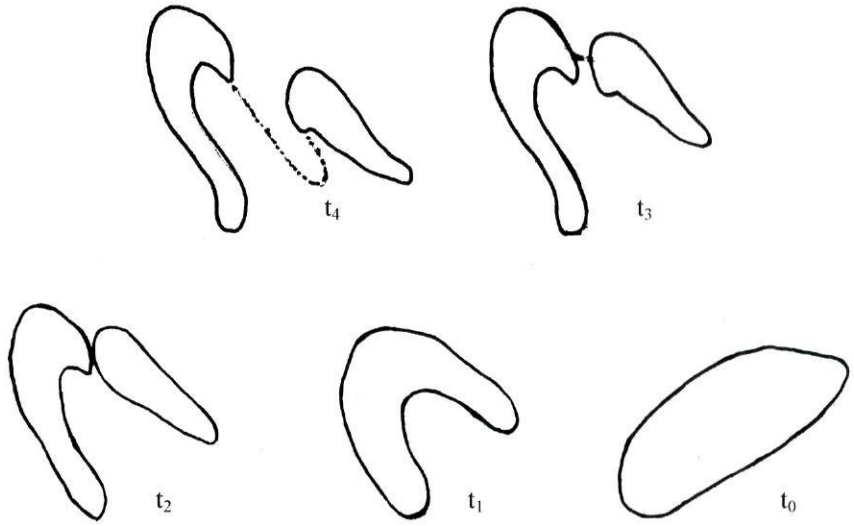
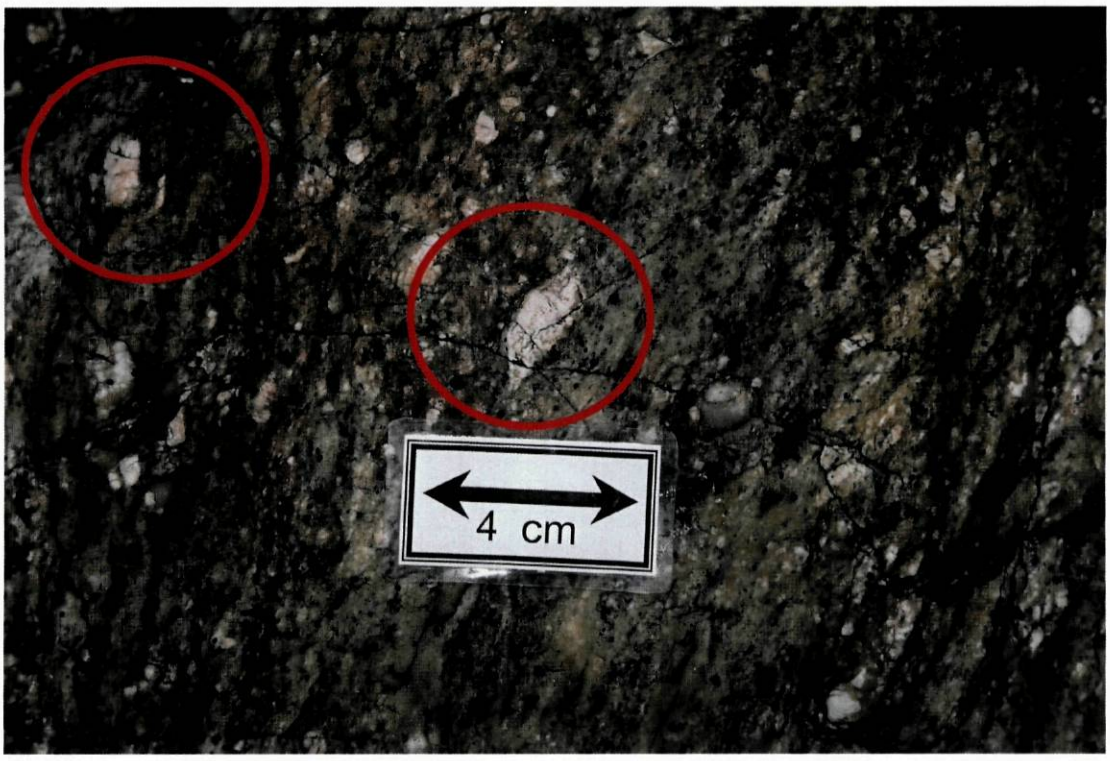


Figura 29 – Reconstituição da sucessão de episódios que conduziu ao produto final: dobra-falha. [Legenda: t – tempo]

Zona de cisalhamento

No EGA de Vila Chã existe uma zona de cisalhamento onde é possível observar a litologia a que respeita a fotografia 16, a mesma que se observa na fotografia 23. Neste caso, alguns dos cristais (ocelos) que fazem parte da textura milonítica do tectonito, evidenciam um cisalhamento de componente normal (figura 30).

As zonas de cisalhamento consistem em estreitas bandas subparalelas com uma intensa deformação (marcada por produtos como aqueles que os círculos vermelhos assinalam) e desenvolvem-se, geralmente, em escala de afloramento, mas podem atingir até 500 metros de espessura, onde se reconhece a passagem de uma rocha pouco deformada, ainda preservando texturas ígneas, até à formação de milonitos (rocha observada neste local – fotografia 16). No entanto, a sua ocorrência regista-se a várias escalas – onde se inclui a microscópica – e sob condições mecânicas bastantes variadas (de frágeis a dúcteis).



Fotografia 23 – Cristais de feldspato que evidenciam o efeito de um cisalhamento de componente normal com milonitização.

O esquema da figura 30 tenta explicitar – através da introdução de setas – a orientação do cisalhamento e a percepção do processo cinemático.

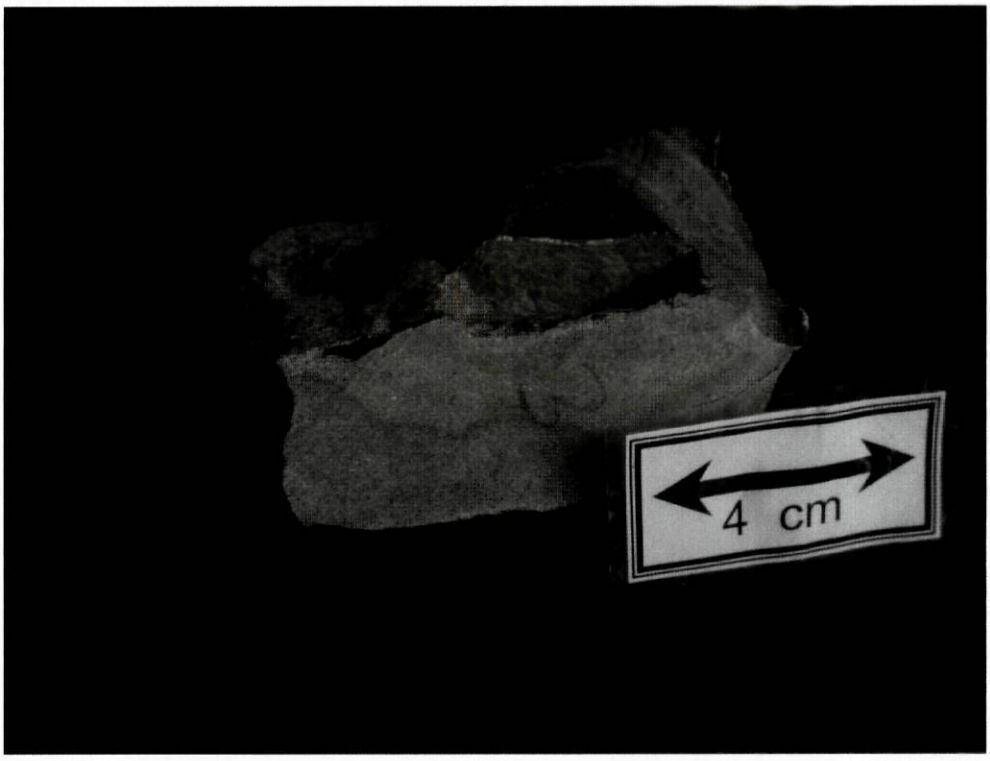


Figura 30 – Cisalhamento de componente normal com milonitização.

À medida que aumenta a deformação, a rocha torna-se bastante cisalhada, apresenta uma composição essencialmente granítica e uma grande quantidade de faixas quartzo-feldspáticas bem estiradas, com diminuição da granularidade.

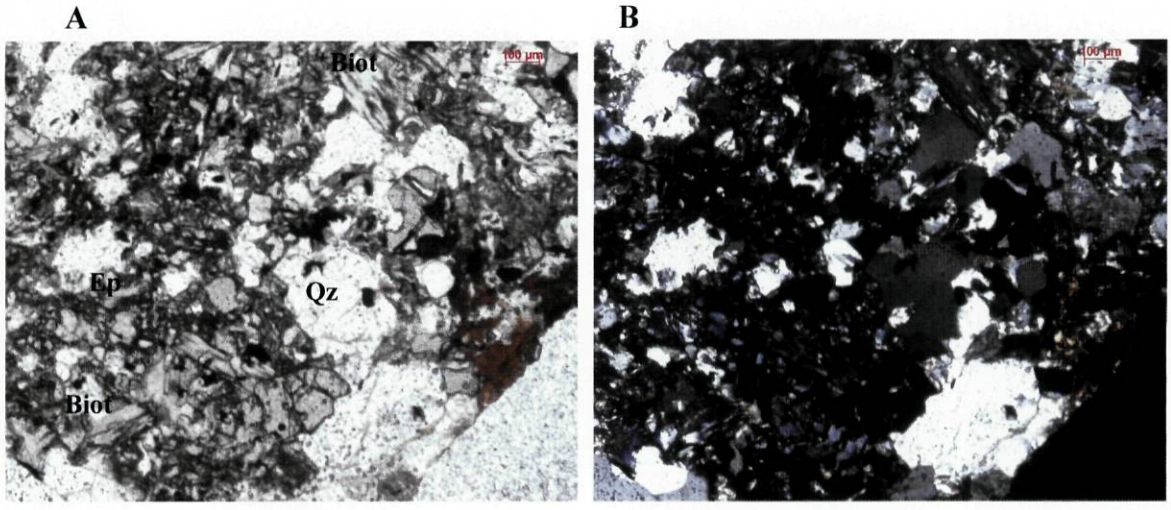
Estudo petrográfico

A fim de complementar as observações realizadas no EGA de Vila Chã, foi feito um estudo petrográfico em lâmina delgada de algumas rochas recolhidas na zona cartografada no mapa da página 122, por forma a aferir as relações entre as diferentes litologias e a identificar alguns dos seus minerais constituintes. Na fotografia 24 podemos observar a amostra de mão (LAD2) onde foi realizado o referido estudo petrográfico. Esta amostra diz respeito a um dos encraves de rocha corneânica presente nos migmatitos.



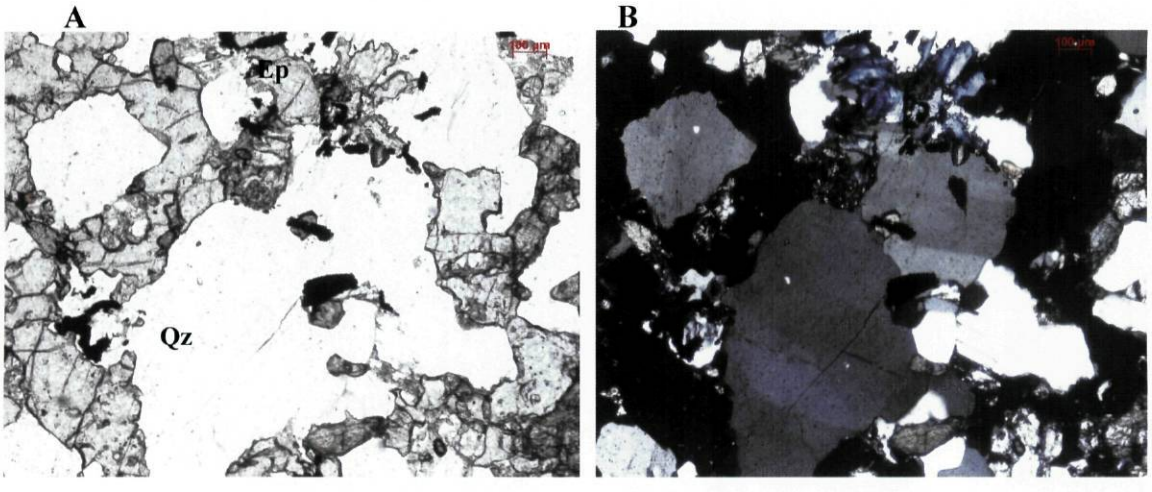
Fotografia 24 – Amostra LAD2 evidenciando o contacto entre a zona mais interna do encrave (de natureza calcossilicatada) e a zona mais exterior (de natureza quartzo-biotítica). A superfície aplanada da amostra é aquela onde foi cortada a rocha para a montagem na lâmina de vidro.

A observação ao microscópico polarizante permitiu o estudo petrográfico da rocha, que veio confirmar a sua composição mineralógica e a respectiva textura. A observação reproduzida na fotografia 25 (A e B) corresponde à zona do encrave com composição calcossilicata, cujo conteúdo mineralógico contrasta com o da zona quartzo-biotítica (fotografia 26 – A e B).



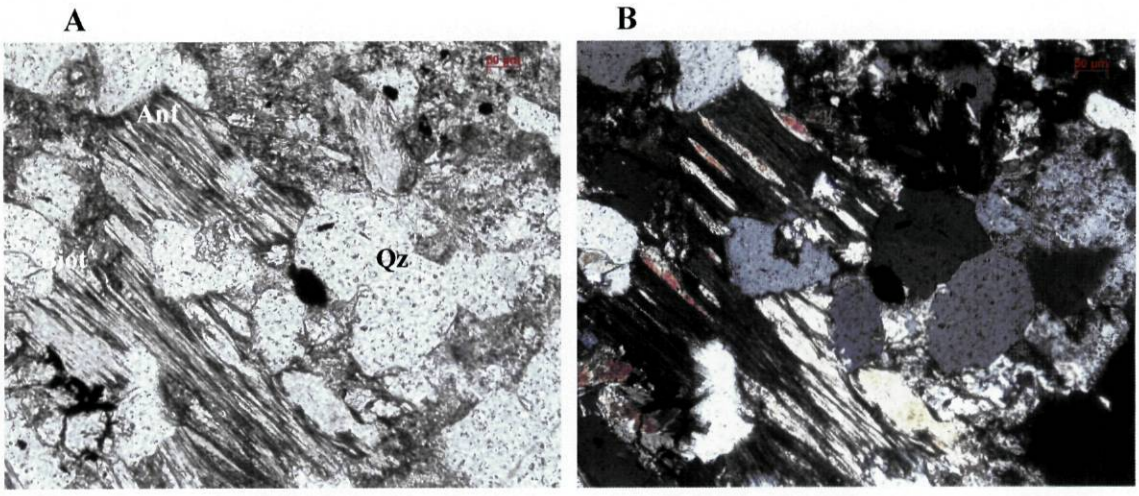
Fotografia 25 – Amostra LAD2 observada em lâmina delgada. A imagem documenta a existência de cristais de epídoto (azul forte na imagem B), de mica (biotite com clivagens marcadas) e de quartzo. A – Luz natural; B – Luz polarizada. [Legenda: Ep – epídoto; Biot – biotite; Qz – quartzo]

Na fotografia 26 (A e B), correspondente à zona mais exterior do encrave – de textura heterogranular sem orientação – apresentam-se cristais de quartzo com extinção ondulante associados a uma lamela de deformação.



Fotografia 26 – Amostra LAD2 observada em lâmina delgada. A imagem documenta a existência de cristais de epídoto (azul forte na imagem B), de quartzo (com extinção ondulante visível na imagem B) e de biotite. A – Luz natural; B – Luz polarizada. [Legenda: Ep – epídoto; Qz – quartzo]

A composição do encrave é tanto mais quartzo-micácea quanto mais nos aproximamos da periferia do mesmo. Na fotografia 27 podemos observar mica intercrescida com anfíbola.



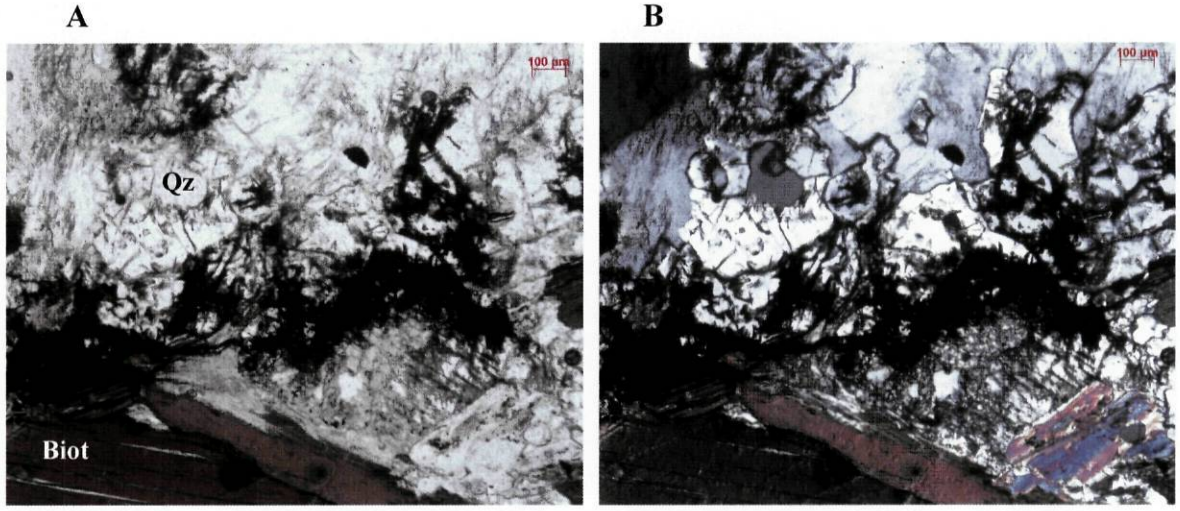
Fotografia 27 – Amostra LAD2 observada em lâmina delgada Intercrescimento entre mica (biotite) e anfíbola. O quartzo apresenta inclusões. A – Luz natural; B – Luz polarizada. [Legenda: Biot – biotite; Anf – anfíbola; Qz - quartzo]

A rocha de maior representação neste EGA de Vila Chã – o migmatito – foi observado ao microscópio petrográfico. A amostra de mão (GC1) onde foi realizado o referido estudo petrográfico encontra-se reproduzida na fotografia 28. Na superfície lisa onde foi feito o corte para preparação da lâmina delgada é bem patente a alternância entre leucossoma e melanossoma.

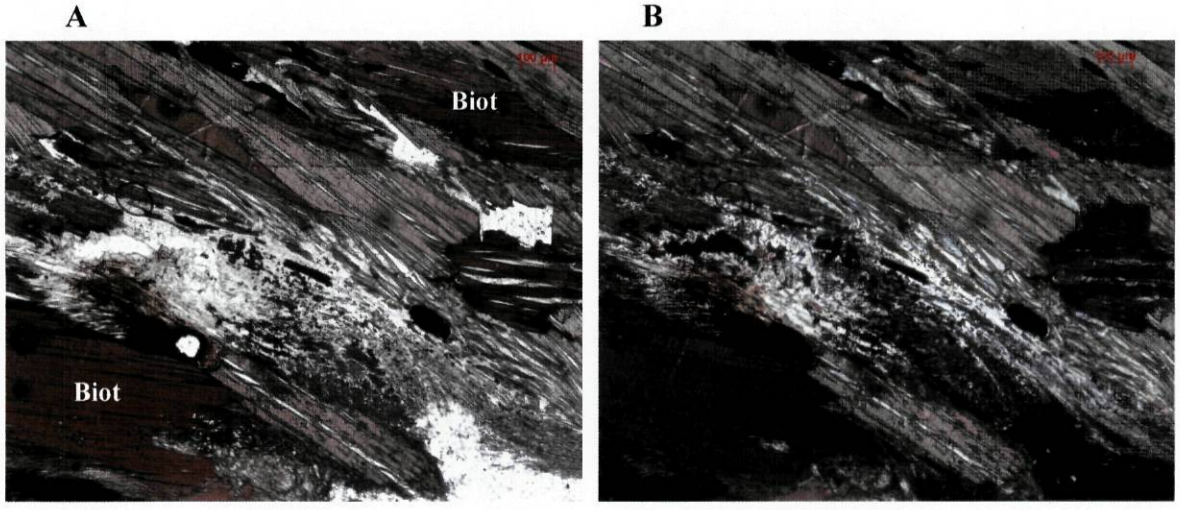


Fotografia 28 – Amostra GC1 evidenciando a alternância entre leitos micáceos de cor escura – o melanossoma – e leitos quartzo-feldspáticos de cor clara – o leucossoma.

O carácter alternante entre leucossoma e melanossoma do migmatito do EGA de Vila Chã, patente em amostra de mão, como aquela que se utilizou para a realização do estudo microscópico (fotografia 28), mantém-se quando passamos para uma escala microscópica (fotografias 29, 30 e 31).



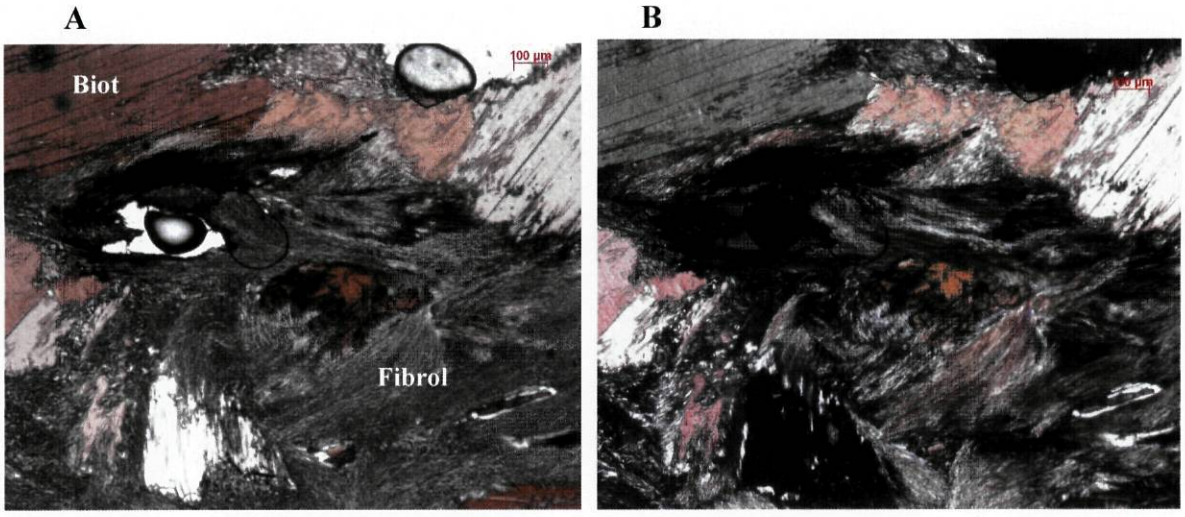
Fotografia 29 – Amostra GC1 observada em lâmina delgada. Imagem documentando o contacto entre nível de leucossoma e nível de melanossoma. A – Luz natural; B – Luz polarizada. [Legenda: Biot – biotite; Qz - quartzo]



Fotografia 30 – Amostra GC1 observada em lâmina delgada. Na proximidade da zona observada na fotografia 29, evidenciando a composição mineralógica, essencialmente, biotite com forte orientação no melanossoma. A – Luz natural; B – Luz polarizada. [Legenda: Biot – biotite]

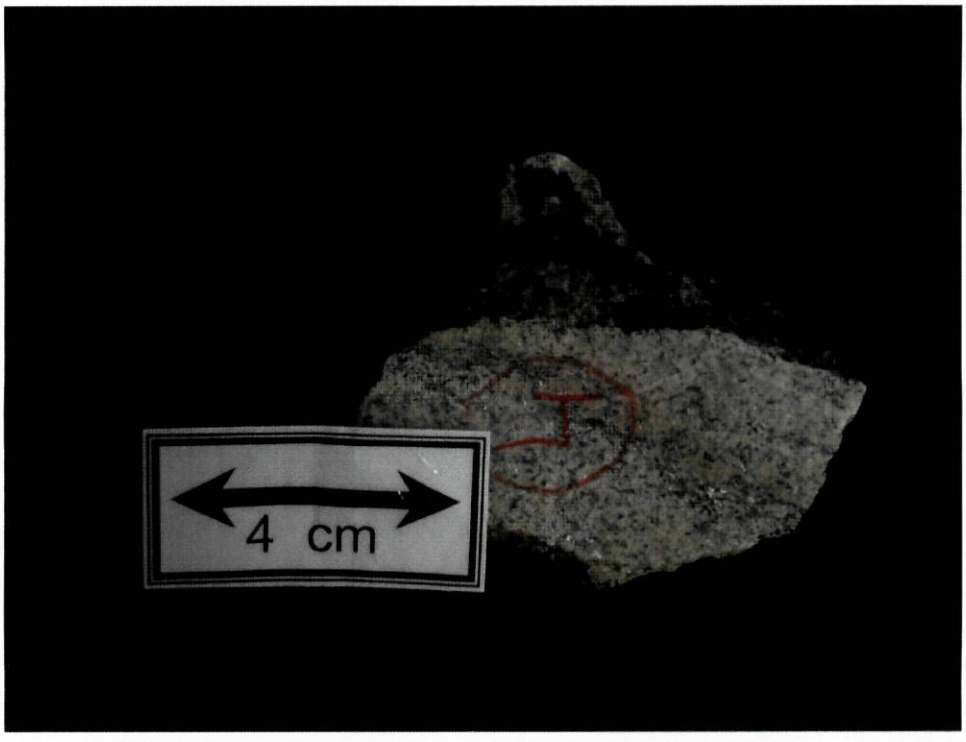
Os diferentes aspectos texturais e mineralógicos observados nas faixas alternantes do migmatito, confirmam a ocorrência de fusão parcial – "melt" – que conduziu à existência zonas onde se acumulou o material que fundiu (leucossoma) e outras onde permaneceu o

material que não fundiu, essencialmente a biotite, por vezes associada a fibrolite[76] (fotografia 31).



Fotografia 31 – Amostra GC1 observada em lâmina delgada. Coexistência, lado a lado, de biotite e de fibrolite. A – Luz natural; B – Luz polarizada. [Legenda: Biot – biotite; Fibrol - fibrolite]

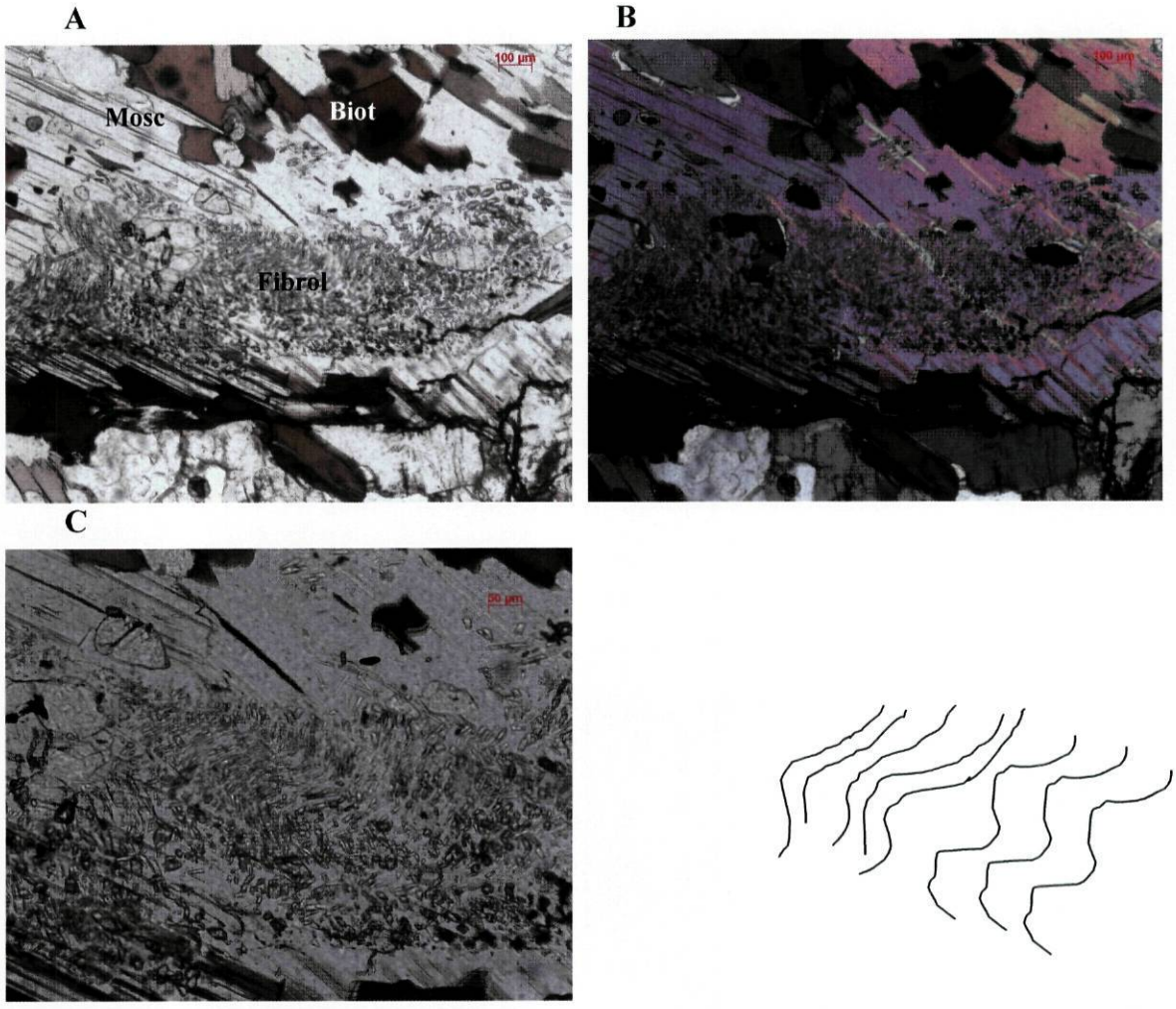
Foram realizadas observações ao microscópio petrográfico de uma rocha de textura ígnea – granito de duas micas de grão fino – que se reproduz em amostra de mão na fotografia 32.



Fotografia 32 – Amostra GC4. Granito de duas micas de grão fino com algumas zonas onde se observam alinhamentos de mica.

[76] Variedade de silimanite comum em rochas metamórficas que ocorre em acículas ou fibras, quase sempre em agregados.

A fotografia 33 reproduz uma zona de textura e mineralogia granítica (correspondente a um granito de duas micas), onde se identifica uma relíquia do paleossoma (fibrolite) no seio da moscovite que se desenvolveu posteriormente.

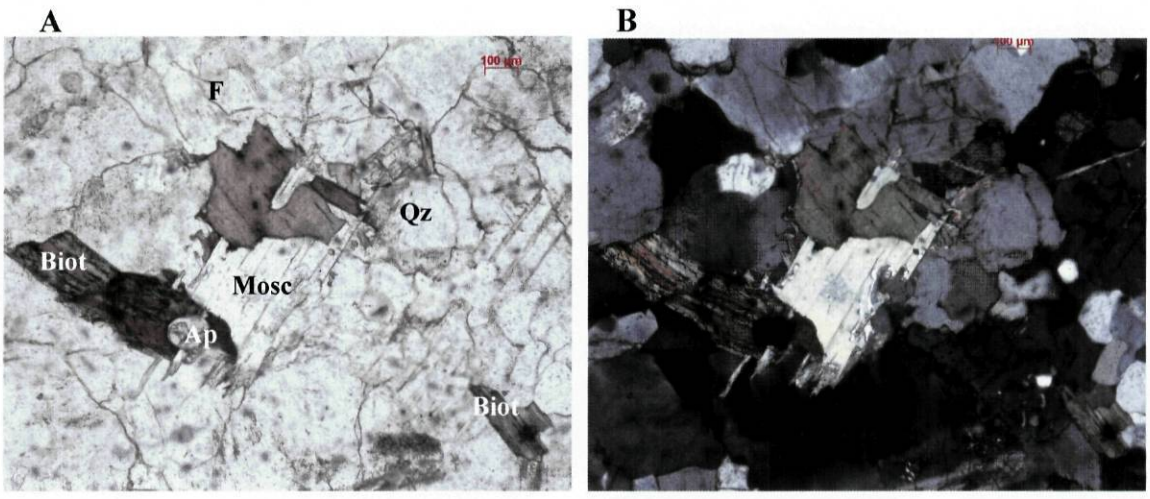


Fotografia 33 – Amostra GC4 observada em lâmina delgada. Moscovite e inclusão de fibrolite que conserva uma foliação crenulada. A – Luz natural; B – Luz polarizada; C – Luz natural. [Legenda: Mosc – moscovite; Fibrol – fibrolite; Biot - biotite]

Figura 31 – Reconstituição da foliação crenulada que remanesceu *impressa* pela fibrolite, constituindo o registo de episódios de deformação anteriores ao aparecimento da moscovite na qual está inclusa a fibrolite.

A zona da amostra reproduzida na fotografia 32, fora do contacto com a relíquia, possui textura ígnea e quando observada ao microscópio (fotografia 34) revela os minerais característicos deste tipo de litologia, identificando-se, claramente, as duas micas: biotite e moscovite.

Os cristais de fibrolite (figura 33 C) definem um alinhamento que constitui uma herança de episódios de deformação anteriores, cuja reconstituição se ensaia na figura 31.



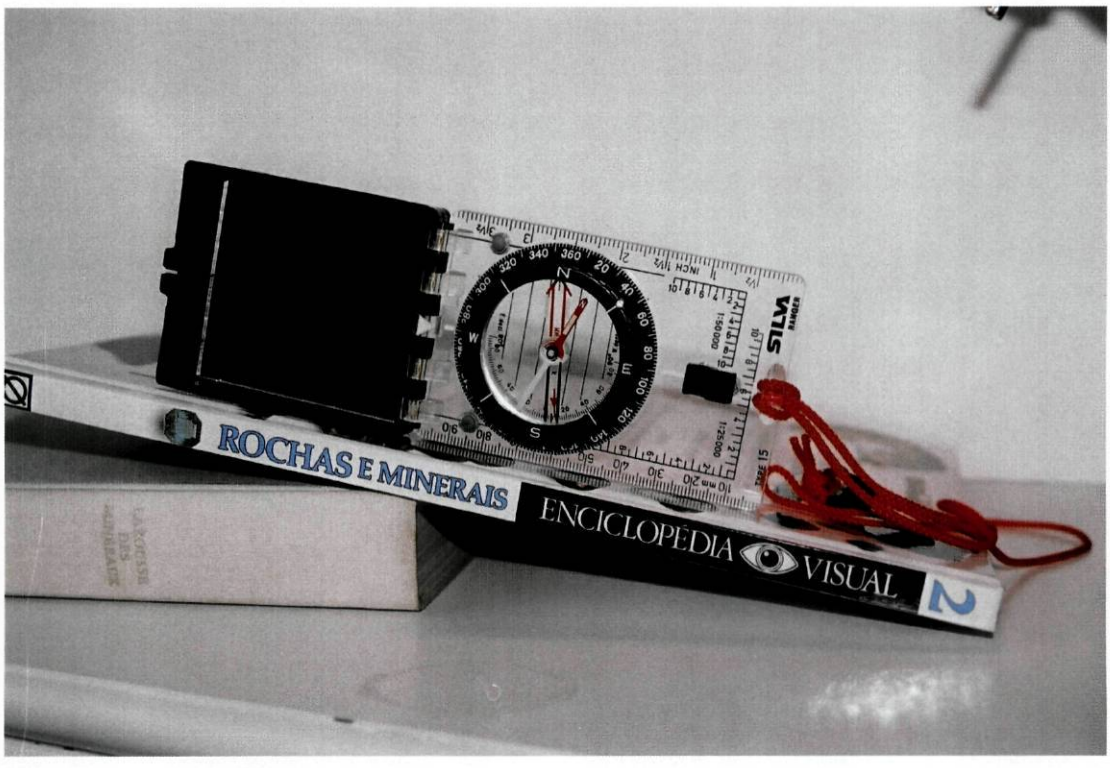
Fotografia 34 – Amostra GC4 observada em lâmina delgada. Granito de duas micas fora do contacto com a relíquia, revelando uma textura ígnea franca. O cristal de biotite identificado no canto inferior direito da imagem em LN, apresenta agulhas de rútilo (cuja origem está associada à alteração da biotite para clorite) A – Luz natural; B – Luz polarizada. [Legenda: Biot – biotite; F – feldspato; Ap – apatite; Mosc – moscovite; Qz - quartzo]

Os minerais constituintes do granito de duas micas (amostra GC4) estão identificados na fotografia 34 (luz natural), sendo particularmente útil o recurso à luz polarizada para a sua distinção.

Proposta de actividade

A maior parte dos manuais escolares não fazem a promoção da utilização da bússola como ferramenta de ensino. Em rigor, os alunos não recebem quaisquer instruções ou treino na utilização da bússola, até ingressarem num curso superior (seja de Geologia, de Geografia, de Geociências, ou outro) e, no entanto, a bússola tem sido um instrumento de trabalho indispensável na pesquisa geológica ao longo dos tempos.

Atendendo a que a generalidade das escolas básicas do 2º e 3º ciclo, de construção recente, se encontram providas de bússolas (sem clinómetro) que, mesmo sem serem *Brunton*© ou *Silva*©, permitirão abordagens como, por exemplo, a notação de azimutes, a determinação da altura de um prédio ou a medição da direcção e inclinação (fotografia 35).



Fotografia 35 – Exercício com bússola segundo um esquema que permite o desenvolvimento da capacidade de medição da direcção e inclinação de um plano inclinado, até mesmo dentro da sala de aula.

Na tabela 5 apresentam-se as vantagens e as desvantagens da utilização da bússola. Importa, pois, aproveitar, para o processo de ensino-aprendizagem, as qualidades decorrentes do uso deste instrumento e superar algumas das contrariedades ali enumeradas. Para isso, temos de actuar não só ao nível dos conhecimentos prévios a mobilizar para uma eventual

saída da escola que envolva TC, mas também ao nível dos procedimentos, nomeadamente, quanto à utilização da bússola e do clinómetro (cuja construção se propõe adiante).

Tabela 5 – Algumas vantagens e desvantagens da utilização da bússola em TC no ensino da Geologia.

Vantagens (Stracher e Shea, 2000)	**Desvantagens** (Moreira et al., 2002 e Rebelo e Marques, 2000)
Maior envolvimento de alunos e professores nas actividades de aprendizagem da Geologia	Dificuldade na orientação das cartas topográficas e na localização dos pontos onde se encontram
Resposta entusiástica dos alunos por aprenderem a lidar com um instrumento que é usado por geólogos profissionais	Dificuldade na determinação da direcção e da inclinação de estruturas geológicas
Facilitar a compreensão da medição de ângulos ao promover o contacto com situações reais	Cepticismo dos docentes na utilização da bússola por se sentirem pouco aptos para o manuseamento da mesma

O clinómetro é um instrumento que pode ser parte integrante da bússola (fotografia 35), sendo útil para a medição da inclinação de estruturas geológicas, tais como, falhas, diaclases ou estratos, entre outras. Para superar a sua falta nas bússolas existentes nos estabelecimentos de ensino, propomos a construção de um clinómetro improvisado, para medir a inclinação de estruturas geológicas ou para determinar a altura de um afloramento[77].

Apresentam-se, de seguida, as instruções para a construção de um clinómetro[78], actividade que poderá ser realizada na sala de aula, para posterior utilização no estabelecimento de ensino ou numa actividade que envolva TC num EGA.

Com o recurso a uma actividade como esta pretendemos:

- desenvolver a capacidade de orientação;
- facilitar a compreensão da medição de ângulos em situações reais;
- promover a interdisciplinariedade com a disciplina de Matemática (nomeadamente ao nível do ensino secundário[79]).

[77] Ou até mesmo um qualquer edifício do recinto escolar.

[78] Adaptação de *Estimating heigts with a clinometer* em: http://image.gsfc.nasa.gov /poetry/activity/Nlbook_col.pdf.

[79] A referência a este nível de ensino prende-se com a necessidade de mobilizar alguns conceitos matemáticos (trigonometria).

Materiais (para o trabalho na sala de aula):

- Fotocópia do clinómetro (figura 32);
- Tesoura;
- Fita-cola;
- Fio;
- Pequena moeda (p. e., €0,01);
- Cartão ou cartolina;
- Tubo de plástico com 15 cm (p. e., uma palhinha)*.

Instruções:

1) Colar a cópia do clinómetro (figura 32) no cartão e recortar
2) Furar o cartão no pequeno cículo negro existente no canto superior direito do clinómetro
3) Passar o fio pelo orifício, prendendo-o com fita-cola na parte de trás do cartão onde se colou o clinómetro
4) Deixar o fio ficar solto na parte da frente
5) Fixar a pequena moeda na extremidade livre do fio (assim, servirá de peso para formar um fio de prumo)
6) Colar a palhinha na parte superior do clinómetro*

* No caso de se pretender utilizar o clinómetro para medir alturas.

A utilização do clinómetro improvisado como instrumento complementar da bússola, pode ser feita tal como se documenta na fotografia 35, onde está reproduzida uma bússola com clinómetro. A utilização deste aparelho para actividades que envolvam a medição de alturas envolve o seguinte procedimento (figura 33):

a) Procurar um alvo no afloramento (ou no edifício), visando através da palhinha;

b) Medir o ângulo (com o clinómetro) e a distância à base do alvo (com uma fita métrica);

c) Calcular a altura a partir do ângulo e da distância**.

**$H = \tan \alpha \times D + h$ em que $\alpha = 90^{o}\text{-}x^{o}$

[H – altura do afloramento (ou do edifício); D – distância entre o observador e a base do alvo; h – altura do observador; x^{o} - ângulo ao objecto medido pelo observador]

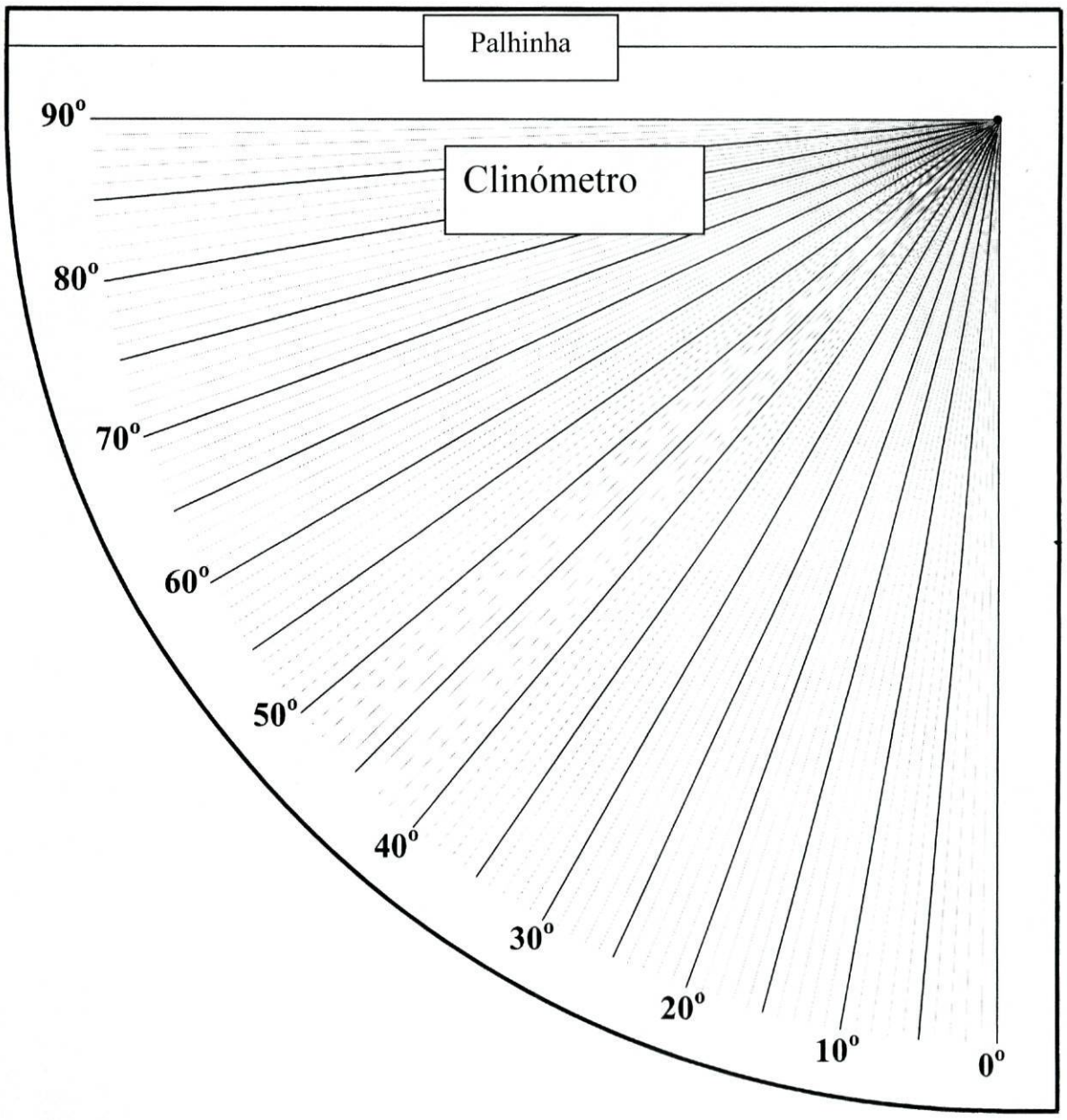


Figura 32 – Esquema a utilizar para reprodução e posterior execução do clinómetro.

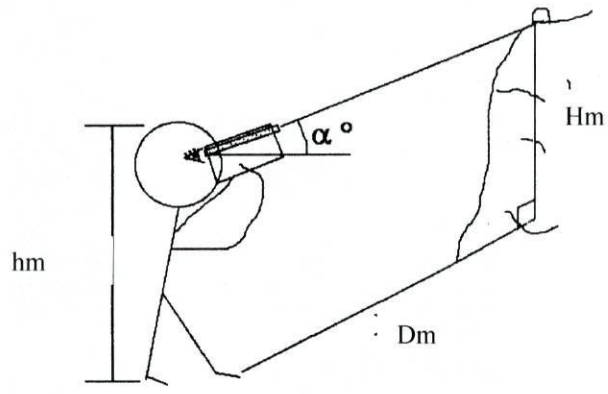


Figura 33 – Esquema representativo do procedimento a adoptar para determinação da altura (em metros) de um afloramento ou edifício.

É importante referir que esta actividade pode/deve ser realizada por vários grupos de alunos, a fim de obter várias medidas para o afloramento (ou edifício) e determinar um valor médio.



escala 1/2000

100m 0m 100m

MINISTÉRIO DO AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Direcção de Serviços de Utilizações do Domínio Hídrico

Divisão de Ordenamento e Protecção

INSTITUTO DA ÁGUA

EGA DA VILA CHÃ

Praia Nova-Praia de Vila Chã

CONCELHO: Vila do Conde

FREG: Mindelo-Vila Chã



MINISTÉRIO DO AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Direcção de Serviços de Utilizações do Domínio Hídrico

Divisão de Ordenamento e Protecção

INSTITUTO DA ÁGUA

EGA DA VILA CHÃ

Praia Nova-Praia de Vila Chã

CONCELHO: Vila do Conde

FREG: Mindelo-Vila Chã

6. Considerações finais

6.1. Proposta de procedimento[80] para identificação e divulgação de Espaços Geológicos de Aprendizagem (EGA)

A identificação de locais na proximidade das escolas, com potencial para servir como recurso didáctico para o ensino-aprendizagem da Geologia, que temos vindo a designar como Espaços Geológicos de Aprendizagem (EGA), constitui uma oportunidade para a difusão e a valorização da cultura geológica local/regional.

Como se constatou no segundo capítulo deste trabalho, o TC não tem constituído uma prioridade no elenco de estratégias/recursos educativos utilizáveis no ensino da Geologia. Tão pouco a (re)introdução de conteúdos científicos desta disciplina no currículo das Ciências Naturais (no início da década de noventa) veio alterar esta situação, apesar de alguma investigação e prática universitária ter tentado contrariar as lacunas existentes nesta matéria – o TC no ensino da Geologia tem de ser (re)pensado para (re)agir.

No dealbar deste novo milénio, novos campos de interesse com pontos de contacto junto das disciplinas geológicas – como a geoconservação ou o geoturismo – permitem-nos pensar que, ao identificarmos EGA, abriremos as portas ao conhecimento daquelas porções da superfície terrestre que se revestem de valor particular para a compreensão da História da Terra; apontam neste sentido as acções desenvolvidas no âmbito do programa Geologia no Verão, onde a geodifusão praticada por geólogos conduzirá, certamente, ao despertar de novas vocações culturais e sociais.

Pensando desta forma, os professores do Ensino Básico e do Ensino Secundário poderão contribuir para a inventariação de EGA, se organizarem actividades que envolvam TC nas redondezas das suas escolas, despertando o interesse dos alunos pela Geologia e pela salvaguarda do património geológico local/regional, uma vez que nem sempre é possível organizar com eficácia estas actividades em locais mais emblemáticos, mas que distam centenas de quilómetros da maioria das escolas.

O conhecimento assim obtido poderia ser objecto de divulgação nos sítios da internet dos diferentes estabelecimentos de ensino, promovendo o intercâmbio e a troca de informação sobre diferentes EGA com interesse local/regional.

---

[80] Adaptação de *Geosites: an opportunity for the spreading and appreciation of regional geological culture* (Piacente, S. e Giusti, C. , 2000 – Documentos del XI Simposio sobre la Enseñanza de la Geología – Santander).

Contudo, não seriam apenas os professores dos referidos níveis de ensino a desempenhar um papel preponderante no desenvolvimento de um programa desta natureza. Os profissionais que exercem a sua actividade no Ensino Superior (docentes e investigadores) – tal como acontece no projecto Geologia no Verão – poderiam colaborar com o seu saber específico/especializado, em conjunto, por exemplo, com futuros geólogos e futuros professores, já que alguns (estes últimos) realizam o estágio pedagógico em estabelecimentos de ensino (básico e secundário)[81].

Para a identificação dos EGA, associados a cada comunidade educativa, o procedimento a adoptar seria:

1º - Seleccionar um (ou mais) locais, necessariamente situados na proximidade da escola, a considerar como EGA por reunir(em) o mínimo de características para se tornar(em) representativos de aspecto(s) didáctico(s) da Geologia;

2º - Realizar uma pesquisa sobre toda a documentação existente relacionada com acontecimentos geológicos da região;

3º - Identificar pontos de interesse em cada EGA, nomeadamente, ao nível da biologia[82], da ecologia, da paisagem, da História local[83], ...

4º - Elaborar um documento com a identificação dos pontos de interesse geológico[84], a divulgar em suporte físico e/ou virtual, tanto para uso educativo como para uso turístico ou cultural.

O conhecimento e a informação produzidos nos planos de actuação dos diferentes intervenientes – escolas, autarquias, universidades, ... – poderiam ser usados em distintos campos de interesse (figura 34).

---

[81] Algo que se poderia designar como Geologia todo o ano.

[82] Na Aguda (localidade situada a Norte de Espinho) a costa rochosa encontra-se situada numa zona protegida de dunas e próxima da Estação Litoral da Aguda, constituindo-se como um local para desenvolvimento de actividades multidisciplinares (relativamente perto da Escola EB 2,3 de Arcozelo).

[83] No limite Sul da praia de Vila Chã encontra-se reconstituído um castro (Sampaio), o que proporciona a possibilidade de organização de actividades multidisciplinares.

[84] Não necessariamente itinerários, uma vez que a ida ao campo para realização de TC parte do pressuposto de que descobrir é mais interessante do que ser guiado até aos locais, bem como da necessidade de corresponder a iniciativas dos alunos/utilizadores sem recorrer a receitas pré-definidas.

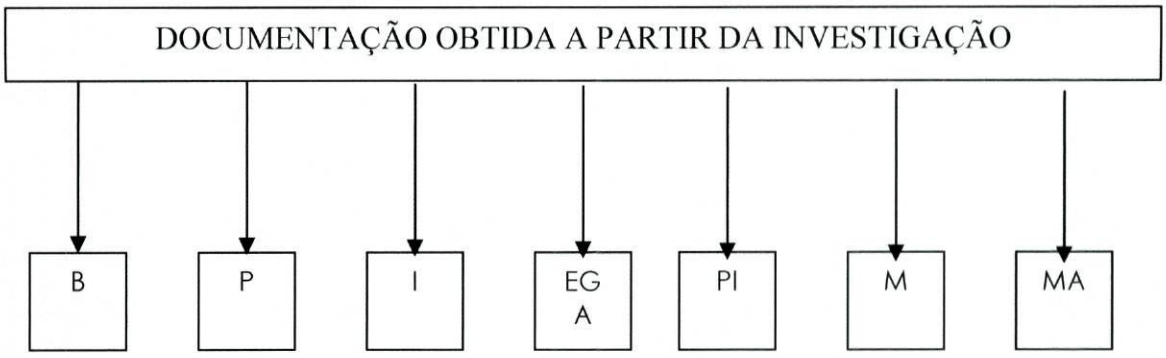


Figura 34 – Fontes de informação – B) bibliografia; P) pessoas (ex.: professores); I) informação (ex.: fichas, internet, folhetos); EGA) espaços geológicos de aprendizagem; PI) pontos de interesse; M) museus; MA) mapas.

Para atender às diferentes necessidades será utilizada, parcial ou totalmente, a documentação obtida a partir da investigação. Assim, se o nosso interesse for o geoturismo, a informação a usar seria aquela que se representa na figura 35.

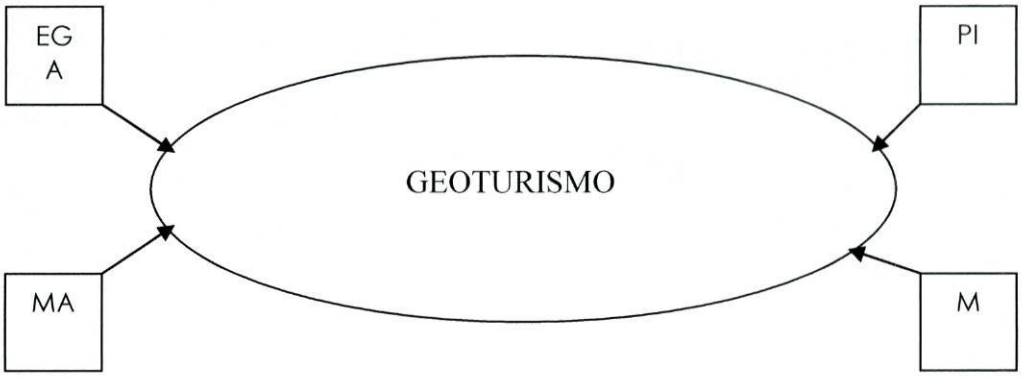


Figura 35 – Fontes de informação utilizadas para uma actividade relacionada com o geoturismo.

Para fins didácticos, como no caso do ensino-aprendizagem da Geologia, os recursos a afectar para uma actividade que envolva TC (por exemplo) seriam aqueles que se ilustram na figura 36.

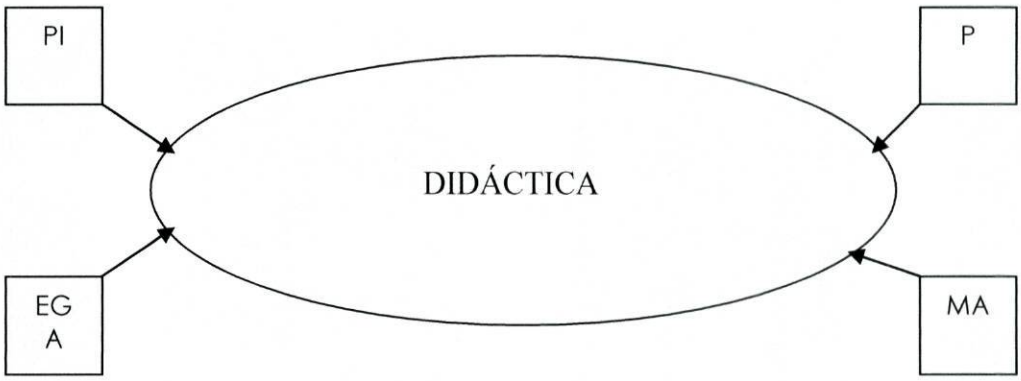


Figura 36 – Fontes de informação utilizadas para uma actividade de ensino-aprendizagem.

Complementarmente a actividades como a Geologia no Verão, a identificação de EGA junto das escolas, como pólos de desenvolvimento da necessidade de conhecer e preservar a riqueza geológica local, promoverá o (re)conhecimento da identidade cultural de cada comunidade educativa e ajudará a situar cada aluno/cidadão na História da Terra e a perceber a sua evolução geológica (e não só).

6.2. Conclusões

O que se faz no campo pode ser continuado na sala de aula/laboratório e os trabalhos laboratoriais podem condicionar as actividades a realizar no campo, isto é, o TC e o TL podem auto-influenciar-se.

O TC continua a ser o parente pobre dos recursos didácticos, contribuindo para esta situação o desconhecimento que os docentes manifestam relativamente ao potencial didáctico de (pequenos) afloramentos existentes na proximidade dos estabelecimentos de ensino (mesmo em zonas densamente urbanizadas).

Os espaços[85] para a realização de TC não se encontram, necessariamente, distantes da escola (podem estar próximo, muitas vezes, dentro dela).

[85] Designados EGA no âmbito deste trabalho.

O recurso a exemplos de referência (Cabo Mondego, Foz do Douro, Anticlinal de Valongo, ...) nem sempre é mais favorável do que o recurso a afloramentos existentes na proximidade dos estabelecimentos de ensino, pois estes últimos também apresentam características singulares que lhes conferem identidade própria e potencial didáctico.

Bibliografia

Bibliografia

Almeida, A. M. F. G. (2001). *Educação em Ciências e Trabalho Experimental: Emergência de uma nova concepção*. Ensino Experimental das Ciências – (Re)Pensar o Ensino das Ciências. Departamento do Ensino Secundário (p. 51-73).

Amador, F. (1998). *As imagens no Ensino da Geologia*. Formação de Professores – Cadernos Didácticos. Série Ciências nº 2. Universidade de Aveiro.

Amador, F. (2001). *O "ciclo Geológico" de James Hutton – uma fonte de inspiração para a realização de actividades didácticas*. Cadernos Didácticos de Ciências (Vol. 1). Departamento do Ensino Secundário (p. 19-25).

Amador, F., Silva, C. P., Baptista, J. F. P. e Valente, R. A. (2001). *Programa de Biologia e Geologia*. Ministério da Educação – Departamento do Ensino Secundário.

Araújo, A. e Alberti, A. P. (1999). *Xeografia do Eixo Atlántico/Geografia do Eixo Atlântico*. Eixo Atlântico do Noroeste Peninsular, Vigo, Espanha.

Barboza, Scott A., Bargantz, George W. e Brown, Michael (1999). *Regional granulite facies metamorphism in the Ivrea zone: Is the Mafic Complex the smoking gun or a red herring?* Geology, v. 27, nº 5, p. 447-450. Versão web: http://www.ess.washington.edu/Program/physpet/SB-GB-MB-Geology.pdf.

Bard, J. P. (1987). *Microtextures of Igneous and Metamorphic Rocks*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.

Berger, A. e Roselle, G. (2001). *Crystallization processes in migmatites*. American Mineralogist, 86 (p. 215-224).

Berzosa, S. (2003). *Cartografía de Áreas Ígneas y Metamórficas*. Facultad de Ciências Geológicas. Universidad Complutense. Madrid.

Blatt, H. e Tracy, R. J. (1995). *Petrology – Igneous, Sedimentary and Metamorphic*. 2nd Edition (p. 17-22).

Bonin, B., Dubois, R. e Gohan, G. (1997). *Le Métamorphisme et la formation des granites – Évolution des idées et concepts actuels*. Éditions Nathan. Paris.

Bravo, M. S. e Abrunhosa, M. J. (1978). *Sobre a petrografia, composição e origem dos anfibolitos da Foz do Douro (Porto – Portugal)*. Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto, nº XC – 4ª série.

Brown, M. (2000). *A top down approach – from granite to granulite: inferences about the thermal and rheological structures of compressional orogens, and melting and melt transport.*

Versão web: http://www.cseg.ca/conferences/2000/246.PDF.

Brown, M. (2001). *Orogeny, migmatites and leucogranites: A review*. Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet Sci.), 110, nº 4 (p. 313-336).

Brown, M. (2002). *Retrograde processes in migmatites and granulites revisited.* Journal of Metamorphic Geology, 20 (p. 25-40).

Brusi, D., Bach, J., Domingos, M. e Obrador, A. (1987). *El itinerário urbano en el aprendisaje de la Geologia*. Enseñanza de las Ciencias, Número extra (p. 85-86).

Cachapuz, A. F., Praia, J. F. e Jorge, M. P. (2001). *Perspectivas de Ensino – Textos de Apoio Nº 1*. Centro de Estudos de Educação em Ciência (CEEC). Porto.

Carmo, H. e Ferreira, M. M. (1998). *Metodologia de Investigação – Guia para Auto-aprendizagem*. Universidade Aberta.

Carrington da Costa, J. (1938). *O Porto: Geografia, Geologia*. Separata da: Nova Monografia do Porto. Companhia Portuguesa Editora.

Carríngton da Costa, J. e Teixeira, C. (1957). *Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000. Notícia explicativa da Folha 9-C (Porto)*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Castro, A., Corretgé, L. Guillermo, De La Rosa, Jesus D., Fernández, Carlos, López, Susana, García-Moreno, Olga e Chancón, Helena (2003). *The Appinite-Migmatite Complex of Sanabria, NW Iberian Massif, Spain*. Journal of Petrology (p. 1-36).

Castro, A., Corretgé, L. Guillermo, El-Biad, Mohamed, El-Hmidi, Hassan, Fernández, Carlos e Patiño Douce, Alberto E. (2000). *Experimental Constraints on Hercynian Anatexis in the Iberia Massif, Spain*. Journal of Petrology, Vol. 41, nº 10 (p. 1471-1488).

Castro, A., Fernández, C., El-Hmidi, H., El-Biad, M., Díaz, M., De La Rosa, J. e Stuart, F. (1999). *Age constraints to the relationships between magmatism, metamorphism and tectonism in the Aracena metamorphic belt, southern Spain*. Int. Journ. Earth Sciences, 88 (p. 26-37).

Chaminé, H. (2000). *Estratigrafia e Estrutura da Faixa Metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa Morena): implicações geodinâmicas*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Tese de Doutoramento.

Chaminé, H. I., Ribeiro, A. e Pereira, E. (1995). *Cartografia geológica e estratigrafia da faixa precâmbrica do sector Espinho–Albergaria-a-Velha (Z. Ossa–Morena)*. Universidade do Porto – Faculdade de Ciências, Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico. Memória nº 4 (p. 329-333).

Compton, R. R. (1985). *Geology in the field*. John Wiley & Sons, Inc.

Costa, Joaquim B. (1985). *Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico.* Fundação Calouste Gulbenkian.

Dourado, L. (2001). *Trabalho Prático (TP), Trabalho Laboratorial (TL), Trabalho de Campo (TC) e Trabalho Experimental (TE) no ensino das Ciências – contributo para uma clarificação de termos.* Ensino Experimental das Ciências – (Re)Pensar o Ensino das Ciências. Departamento do Ensino Secundário (p. 13-18).

Educação, Ministério da (2001). *Ciências Físicas e Naturais – Orientações Curriculares para o 3º ciclo do Ensino Básico.* Departamento da Educação Básica.

Educação, Ministério da (2003). *Reforma do Ensino Secundário – Documento orientador da Revisão Curricular (Ensino Secundário).*

Ferreira, J. e Araújo, M. A. e Gomes, A. A. (1995). *Contribuição para o conhecimento geológico e geomorfológico da praia de Lavadores (Vila Nova de Gaia).* Universidade do Porto – Faculdade de Ciências, Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico. Memória nº 4 (p. 411-415).

Ferreira, Martim Portugal (1972). *Rochas Metamórficas.* Coimbra.

Freitas, C. e Andrade, C. (1999). *Espaços litorais em risco.* Comunicar Ciência, Ano I, Nº 2 (p. 3-5).

Freitas, M. (2001). *O Trabalho Prático (Laboratorial e de Campo) na Promoção de Áreas Transversais do Currículo (Área de Projecto/Projecto Tecnológico).* Ensino Experimental das Ciências – (Re)Pensar o Ensino das Ciências. Departamento do Ensino Secundário (p. 75-87).

Gomes, A. A. e Ferreira, J. (1995). *A praia de Lavadores (Vila Nova de Gaia) – Uma aula de campo para os alunos do Ensino Secundário.* Universidade do Porto – Faculdade de Ciências, Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico. Memória nº 4 (p. 3-6).

Gómez, M. Dolores Pereira e Alonso, M. Dolores Rodríguez (2000). *Duality of cordierite granites related to melt-restite segregation in the Peña Negra anatectic complex, Central Spain.* The Canadian Mineralogist, Vol. 38 (p. 1329-1346).

Gonçalves, P. A. R. (2002). *A Cidade como recurso didáctico: As rochas do Porto* (Vol. I). Tese de Mestrado em Geologia para o Ensino. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Instituto Geológico e Mineiro (2001). *Litoteca de Portas Abertas.* Instituto Geológico e Mineiro.

Kali, Y. e Orion, N. (in press). *Can You Win Them All? – The Rock-cycle as a Framework for Integrating Diverse Approaches in Science Education.* Journal of Geoscience Education.

Kali, Y., Orion, N. e Eylon, B. (in press). *The Effect of Knowledge Integration Activities on Students' Perception of the Earth's Crust as a Cyclic System*. The Journal of Research in Science Teaching.

Kornprobst, J. (1994). *Les roches métamorphiques et leur signification géodynamique*. Masson.

Kriegsman, L. M. (2001). *Partial melting, partial melt extraction and partial back reaction in anatectic migmatites*. Lithos 56 (p. 75-96).

Leite, L. (2001). *Contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das Ciências*. Cadernos Didácticos de Ciências (Vol. 1). Departamento do Ensino Secundário (p. 79-97).

Marchildon, N. e Brown, M. (2000). *Self-organization in partially-molten crust: An example from leucosome distribution in late-kinematic migmatites.* Versão web: www.cseg.ca/conferences/2000/213.PDF.

Marchildon, N. e Brown, M. (2002). *Grain-scale melt distribution in two contact aureole rocks : implications for controls or melt localization and deformation.* Journal of Metamorphic Geology, 20 (p. 381-396).

Marchildon, N. e Brown, M. (2003). *Spatial distribution of melt-bearing structures in anatectic rocks from Southern Brittany, France: implications for melt transfer at grain- to orogen-scale*. Tectonophysics 364 (p. 215-235).

Marques, L., Futuro, A., Leite, A. e Praia, J. (1996). *A aula de campo no ensino da Geologia. Contributos para uma clarificação e prática do seu papel didáctico*. IX Simposio sobre la Enseñanza de la Geología. E. C. T., extra-96 (p. 32-39).

Martínez, Nicolás Marín (2003). *Visión construtivista dinâmica para la enseñanza de las ciências*. Enseñanza de las Ciências, número extra (p. 43-55).

Martín-Romera, C., Villaseca, C., López-Garcia, J. A., Boiron, M.-C. e Barbero, L. (2001). *CO_2-CH_4-N_2 Fluid inclusions in granulite-facies migmatites of Hercynian Anatectic Complexes of central Spain*. Faculdade de Ciências do Porto, Departamento de Geologia. Memória nº 7 (p. 287-289).

Mateus, A. (2001). *Perspectivas actuais da Geologia; sua importância educativa*. Ensino Experimental das Ciências – (Re)Pensar o Ensino das Ciências. Departamento do Ensino Secundário (p. 107-129).

Mateus, A. (2002). *Os planos, mapas, cartas e fotografias aéreas como recursos didácticos*. Ensino experimental das Ciências. Materiais Didácticos, 1 (p. 153-163).

Milord, I., Sawyer, E. W. e Brown, M. (2001). *Formation of diatexite migmatites and granite magma during anatexis of semi-pelitic metasediments: an example from St. Malo, France.* Journal of Petrology, Vol. 42 (p. 487-505). Versão web: http://petrology.oupjournals.org/cgi/content/abstract/42/3/487.

Moreira, J., Praia, J. e Sodré Borges, F. (2002). *O Trabalho de Campo em Geologia: Construção de Materiais para alunos do Ensino Secundário – um estudo na área de Valongo.* Geonovas nº 16 (p. 87-100).

Moura, A. C. (2000). *Granitos e Rochas similares de Portugal.* Instituto Geológico e Mineiro.

Noronha, F. e Leterrier, J. (2000). *Complexo Metamórfico da Foz do Douro (Porto). Geoquímica e Geocronologia.* Revista da Real Academia Galega de Ciências, Vol. XIX (pág. 21-42).

Noronha, F., Ramos, J. M. F., Rebelo, J. A., Ribeiro, A. e Ribeiro, Mª L. (1979). *Essai de Corrélation des Phases de Déformation Hercynienne dans le Nord-Ouest Péninsulaire.* Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, Vol. XXI – Fasc. II-III (p. 227-237).

Orion, N. (1998). *Implementation of new teaching strategies in different learning environments within the science education.* In proceedings of the international conference of secondary education in Portugal, Shaping The Future: Politics Curricula Practices (p. 125-139).

Orion, N. e Fortner, R. W. (2003). *Mediterranean models for integrating environmental education and earth sciences through earth systems education.* Mediterranian Journal of Educational Studies.

Patiño Douce, A. E. (2000). *Granulites, crustal melting and heating of the lower crust.* Versão web: http://www.cseg.ca/conferences/2000/93.PDF.

Pedrinaci, E., Sequeiros, L. e Torre, E. (1994). *El trabajo de campo y el aprendizaje de la Geologia.* Alambique, 2 (p. 37-45).

Pereira, E. e Meireles, C. (1998). *Metais preciosos em Portugal. Situação da Investigação Geológica e Mineira.* Estudos, Notas e Trabalhos, Tomo 40. Instituto Geológico e Mineiro. Versão web: http://www.igm.pt/edicoes-online/estudos/tomo40/artigo1.htm.

Pereira, E., Coord. (1992). *Carta Geológica de Portugal na escala de 1/200000. Notícia Explicativa da Folha – 1.* Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Pinto, M. Serrano (1985). *Escala cronológica de granitóides portugueses ante-mesozóicos: uma proposta.* Memórias e Notícias, nº 99. Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico

e Geológico da Universidade de Coimbra.

Praia, J. e Marques, L. (1997). Para uma metodologia do Trabalho de Campo: contributos da Didáctica da Geologia. Geologos nº 1 (p. 27-33).

Rebelo, D. e Marques, L. (2000). *O Trabalho de Campo em Geociências na Formação de Professores: Situação exemplificativa para o Cabo Mondego*. Formação de Professores – Cadernos Didácticos. Série Ciências nº 4. Universidade de Aveiro.

Rebelo, José Almeida (1999). *As Cartas Geológicas ao serviço do desenvolvimento*. Publicação integrada nas comemorações dos 150 anos da criação da I Comissão Geológica. Instituto Geológico e Mineiro.

Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rocha, R. B, Soares, A. F., Zbyszewki, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D. de e Monteiro, J. H. (1980). *Introduction à la Geologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Ribeiro, O., Lautensach, H. e Daveau, S. (1998). *Geografia de Portugal. A Posição Geográfica e o Território*. Vol. I, 4ª edição. Edições João Sá da Costa, Lda.

Schmid, R., Fettes, D., Harte, B., Davis, E., Desmons, J. e Siivola, J. (2002). *How to name a Metamorphic Rock*. SCMR. Versão web: www.bgs.ac.uk/SCMR/docs.

Smulikowski, W., Desmons, J., Harte, B., Sassi, P. e Schmid, R. (2003). *Types, Grade and Facies*. SCMR. Versão web: www.bgs.ac.uk/SCMR/docs.

Stracher, G. B. e Shea, J. H. (2000). *Enhancing Quantitative Skills of Physical-Geology Students with a Geologic Compass*. Journal of Geoscience Education, v. 48 (p. 447-449).

Teixeira, C. e Medeiros, A. C. (1965). *Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000. Notícia explicativa da Folha 9-A (Póvoa de Varzim)*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Teixeira, C. (1970). *Aspectos geológicos da orla litoral do Porto e de V. N. Gaia*. Naturália, Vol. X – Fasc. I. Lisboa.

Thompson, A. B. (2001). *Clockwise P-T paths for crustal melting and H_2O recycling in granite source regions and migmatite terrains*. Lithos 56 (p. 33-45).

Tomkins, Andrew G. e Mavrogenes, John A. (2002). *Mobilization of gold as a polymetellic melt during pelite anatexis at the Challenger Deposit, South Australia: a metamorphosed archean gold deposit*. Economic Geology, Vol. 97 (p. 1249-1271).

Torre de Assunção, C. (1962). *Granitos do Minho e do Porto – Notas petrográficas*. Revista da Fac. de Ciências de Lisboa, 2ª série, C, Volume V, Fascículo 1º (p.85-110).

Valeriano, C. M. (2002). *Estágio de Campo I – Manual Básico*. Departamento de Geologia

Regional e Geotectônica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Versão web: www.labgis.uerj.br/geologia/dgrg/webdgrg/camp1-files/manual-campo2002.pdf.

Vernon, R. H. (1999). *Flame perthite in metapelitic gneisses at Cooma, SE Australia.* American Mineralogist, Vol. 84 (p. 1760-1765).

Vernon, R. H. e Johnson, S. E. (2000). *Transition from gneiss to migmatite and the relationship of leucosome to peraluminous granodiorite in the Cooma Complex, SE Australia. Stress, Strain and Structure, A volume in honour of W. D. Reans.* M. W. Jessel e J. L. Urai. Volume 2, Journal of The Virtual Explorer. Versão web: www.virtualexplorer.com.au/Vejournal/Volume2.

Vieira da Silva, J. C. e Flores, D. (2002). *Geologia no Verão 2002 – Viagem ao património geológico da faixa litoral da cidade do Porto.* Porto.

Vigneresse, J. L. e Burg, J. P. (2000). *Continuous vs. Discontinuous melt segregation in migmatites: insights from a cellular automaton model.* Terra Nova, 12 (p. 188-192). Versão web: petrol.natur.cumi.cz/L502/vigneresse/CA-Terranova00.pdf.

Williams, C., Griffiths, J. e Chalkley, B. (1999). *Fieldwork in the Sciences.* Science Education Enhancement and Developmente (SEED). University of Plymouth. Versão web: http://www.science.plym.ac.uk/departments/seed/.

Wimmenauer, W. e Bryhni, I. (2002). *Migmatites and related rocks.* SCMR. Versão web: www.bgs.ac.uk/SCMR/docs.

Winter, J. D. (2001). *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology.* Prentice Hall.

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DO PORTO
BIBLIOTECA