U.PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

PhD

3.º CICLO

FCUP
2019

A Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas no Ensino Superior: um estudo no âmbito da Geologia e Ambiente

Tânia Filipa Martins Gomes Pinto

U.PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

A Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas no Ensino Superior: um estudo no âmbito da Geologia e Ambiente

Tânia Filipa Martins Gomes Pinto

Tese de Doutoramento apresentada à
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto,
Ensino e Divulgação das Ciências - Especialidade Ensino das Ciências

2019

PhD



A Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas no Ensino Superior: um estudo no âmbito da Geologia e Ambiente

Tânia Filipa Martins Gomes Pinto
Programa Doutoral em Ensino e Divulgação das Ciências
Especialidade em Ensino das Ciências
2019

Orientadora
Clara Vasconcelos, Professora Auxiliar com Agregação
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador
António Guerner Dias, Professor Auxiliar
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

U.PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

A Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas no Ensino Superior: um estudo no âmbito da Geologia e Ambiente

Tânia Filipa Martins Gomes Pinto

Tese submetida a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
para a obtenção do grau de Doutor em Ensino e Divulgação das Ciências
(especialidade em Ensino das Ciências)

Orientação: Clara Maria da Silva de Vasconcelos,
Professora Auxiliar com Agregação, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientação: António Guerner Dias,
Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Porto, junho de 2019

*"*O mundo não é. O mundo está sendo.
(…) O conhecimento sobre os terremotos desenvolveu toda uma engenharia que nos ajuda a sobreviver a eles. Não podemos eliminá-los mas podemos diminuir os danos que nos causam. Constatando, nos tornamos capazes de *intervir* na realidade, tarefa incomparavelmente mais complexa e geradora de novos saberes do que simplesmente a de nos adaptar a ela. (…)
Não posso estar no mundo de luvas nas mãos *constatando* apenas. A acomodação em mim é apenas caminho para a *inserção*, que implica *decisão*, *escolha*, *intervenção* na realidade. Há perguntas a serem feitas insistentemente por todos nós e que nos fazem ver a impossibilidade de *estudar por estudar*. De *estudar* descomprometidamente como se misteriosamente, de repente, nada tivéssemos que ver com o mundo, um lá fora e distante mundo, alheado de nós e nós dele*."*

In Paulo Freire (2012, p. 75)

Agradecimentos

O caminho percorrido nesta investigação foi longo e complexo. A sua concretização resultou de um imenso trabalho de partilha entre várias pessoas, às quais quero expressar publicamente os meus agradecimentos, nomeadamente:

- À Professora Doutora Clara Vasconcelos, na qualidade de orientadora, a quem exprimo o meu mais profundo reconhecimento pela partilha de saberes, rigor científico, apoio incansável, inteira disponibilidade e extraordinária determinação, durante todos estes anos, não sendo demais enfatizar, também, o facto de ter acreditado neste projeto até ao fim, fazendo-me também crer que seria possível a sua concretização;

- Ao Professor Doutor António Guerner, na qualidade de coorientador científico, pelo apoio inestimável e confiança que sempre me transmitiu, pelas suas observações pertinentes e palavras de encorajamento, bem como pela entusiasmante perspetiva da área de investigação relacionada com a Geologia e Ambiente;

- À Professora Doutora Carla Faria, pela explicitação do funcionamento da Medida de Reflexão Epistemológica e por todo o apoio prestado relativamente a este instrumento, na fase de preparação para a recolha e análise de dados;

- Aos estudantes da Unidade Curricular de Geologia e Ambiente que aceitaram participar neste projeto de investigação, com todo o seu voluntarismo, aquando das múltiplas respostas aos instrumentos de recolha de dados apresentados;

- Aos meus amigos de sempre, pelas palavras de incentivo e de resiliência, pela partilha de bons momentos de convívio que me ajudaram a superar obstáculos e a permanecer neste duradouro caminho;

- À minha família, a quem dedico este trabalho, fonte de força e tranquilidade, que me ajudou a sorrir nos momentos mais difíceis, por ter a capacidade de ouvir e aconselhar, seguindo sempre comigo na realização dos meus sonhos, com o seu incondicional apoio neste enorme desafio académico a que me propus ("*porque vale sempre a pena*"…).

Registo, assim, no culminar deste trabalho, a minha dívida de gratidão para com todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para o sucesso deste estudo.

Resumo

A Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas (ABRP) constitui-se como uma metodologia enquadrada nos pressupostos consignados na mudança paradigmática educacional preconizada pela Declaração de Bolonha para o ensino superior a nível europeu e de organizações de renome mundial. A Geologia Ambiental emergiu em finais do século XX, sustentada numa visão sistémica do planeta, lidando frequentemente com problemas que refletem a incerteza e imprevisibilidade que caracterizam os subsistemas terrestres. No contexto universitário português, verifica-se um reconhecimento da importância desta área, por via da sua inclusão em grande parte dos cursos de geociências. Assim, a finalidade desta investigação é contribuir para uma mudança nas metodologias de ensino e aprendizagem a nível do ensino superior, promovendo a ABRP como uma metodologia capaz de surtir efeito positivo nos estudantes da área das ciências naturais, mais particularmente, da componente teórico-prática da unidade curricular (UC) de Geologia e Ambiente (GA) da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP). Este estudo envolveu um total de quatro turmas de estudantes que frequentavam a UC de GA, tendo-se formado um grupo experimental (2 turmas) e um grupo de comparação (2 turmas). Foi elaborado um Programa de Intervenção (PI), dirigido ao grupo experimental, ao longo de nove semanas, durante as quais foi aplicada a metodologia ABRP, através da exploração de quatro cenários problemáticos. Utilizando uma combinação de métodos, do tipo triangulação metodológica, foram traçadas duas fases de investigação e três domínios de estudo. Na primeira fase, de natureza qualitativa, os estudantes do grupo experimental colocaram questões, que foram registadas com vista à posterior análise de conteúdo, segundo um procedimento fechado de categorização. A segunda fase, implicou um estudo quasi-experimental, de modo a analisar: (1) a evolução de conhecimento substantivo dos estudantes na área de GA, aferido através dos resultados obtidos no pré e pós-teste de conhecimentos, com recurso a um *design* de investigação intra e inter-sujeitos e (2) a comparação entre os modos de conhecimento e domínios específicos para cada um dos grupos sob investigação, tendo por base o instrumento de Medida de Reflexão Epistemológica. Os resultados apontam para a ABRP enquanto metodologia promotora de: (1) maior competência de formulação de questões de elevado nível cognitivo, (2) aprendizagem de conhecimento substantivo de domínio científico (neste caso, da área de GA) e (3) modos de conhecimento mais complexos. Em suma, as evidências empíricas parecem apoiar a ABRP como uma metodologia capaz de responder de modo inovador aos desafios do ensino superior do século XXI, que implicam uma visão integradora sobre os problemas ambientais.

Palavras-chave

Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas, Ensino Superior, Geologia e Ambiente, Cenários Problemáticos, Modos de Conhecimento; Combinação de Métodos.

Abstract

Problem-Based Learning (PBL) is a methodology framed in the assumptions set forth in the paradigmatic educational change urged by the Bologna Declaration for higher education at European level and also by world-renowned organizations. Environmental Geology emerged in the late 20th century, sustained on a systemic vision of the Planet, coping frequently with problems that reflect the uncertainty and unpredictability which characterize the terrestrial subsystems. In the Portuguese university context, this scientific field is acknowledged as increasingly relevant, through its inclusion in a considerable number of geoscience courses. Thus, the main purpose of this investigation is to contribute to a shift in teaching and learning methodologies in higher education, promoting PBL as a methodology capable of having a positive effect on students in the natural sciences, and more particularly on the theoretical and practical component of the course unit of Geology and Environment (GE) of the Faculty of Sciences of the University of Porto (FCUP). This study involved a total of four classes of students attending the course unit of GE. An experimental group (2 classes) and a comparison group (2 classes) were formed. An Intervention Program was developed for the experimental group, throught nine weeks, during which the PBL methodology was applied, through the analysis of four problematic scenarios. Using mixed methods, triangulation methodology type, two investigation phases and three domains of study were drawn. In the first phase, of a qualitative nature, the students of the experimental group raised questions that were registered, in order to be subsequently analysed, according to a closed categorization procedure. The second phase involved a quasi-experimental study, in order to analyze: (1) the students' substantive knowledge evolution in the area of GE, measured through the results obtained in the pre and post-test of knowledge, using a within and between subjects design study; (2) the comparison between the ways of kwnowing and domains for each group under investigation, based on the Measure of Epistemological Reflection instrument. The results indicate PBL as a methodology that promotes: (1) greater competence up on elaborating questions of higher cognitive level, (2) learning of substantive knowledge in the scientific domain (in this case, GE area) and (3) more complex ways of knowing. To summarize, the empirical evidence seems to support PBL as a methodology able to address in an innovative way to the challenges of higher education of the 21st century, that imply an integrative view of environmental problems.

Keywords

Problem-Based Learning, Higher Education, Geology and Environment, Problem Scenario, Ways of Knowing, Mixed Methods

Índice

Agradecimentos ..... **VII**
Resumo ..... **IX**
Abstract ..... **XI**
Lista de figuras ..... **XV**
Lista de tabelas ..... **XVIII**
Lista de abreviaturas ..... **XX**

Introdução **1**
1. Contextualização do estudo 3
2. Problema, objetivos, questões e hipóteses de investigação 9
3. Organização do trabalho 11

Capítulo I – A Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas **15**
1.1. Sobre a Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas 17
1.2. Cenários e tipos de problemas 35
1.3. O que diz a investigação sobre a Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas 41
1.4. A complexidade do pensamento dos estudantes do Ensino Superior 47

Capítulo II – A Geologia e o Ambiente **55**
2.1. Contributos da Geologia para a Educação Ambiental 57
2.2. A Geologia e Ambiente como Unidade Curricular no Ensino Superior 68
2.3. A Geologia e Ambiente presente no estudo 75
2.3.1. Vulcanologia e prevenção do risco vulcânico 78
2.3.2. Sismos – avaliação, previsão e prevenção 84
2.3.3. Abandono mineiro e dispersão de contaminantes em meio hídrico 95
2.3.4. Estabilidade das zonas de vertente 101

Capítulo III – Conceção e implementação de um Programa de Intervenção **107**
3.1. Fundamentação do Programa de Intervenção com a Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas 109

3.2. Implementação do Programa de Intervenção 116
3.3. Estrutura e dinâmica das aulas 119

Capítulo IV – Metodologia de Investigação 131
4.1. Combinação de métodos 133
4.2. Plano de Investigação 140
4.3. Amostra 144
4.4. Técnicas e instrumentos de recolha de dados 145
4.4.1. Registo das questões colocadas pelos estudantes durante as aulas 145
4.4.2. Teste de conhecimentos 148
4.4.3. Medida de Reflexão Epistemológica (MER) de Baxter-Magolda ... 151
4.5. Técnicas de análise da informação recolhida 153

5. Capítulo V – Apresentação e discussão dos resultados 157
5.1. Análise das questões colocadas pelos estudantes 159
5.2. Análise da evolução da aprendizagem 164
5.3. Os modos de conhecimento dos estudantes no Ensino Superior 170
5.4. Discussão dos resultados obtidos à luz da investigação nacional e internacional 175

Conclusão 187
1. Principais conclusões do estudo 189
2. Limitações 193
3. Sugestões 193

Referências Bibliográficas 195

Apêndices 219
Apêndice I – Ficha nº 1 de monitorização da ABRP 221
Apêndice II –Ficha nº 2 de monitorização da ABRP 229
Apêndice III – Ficha nº 3 de monitorização da ABRP 239
Apêndice IV – Ficha nº 4 de monitorização da ABRP 247
Apêndice V – Teste de conhecimentos de GA 255
Apêndice VI – Proposta de correção do teste de conhecimentos de GA 265
Apêndice VII – Protocolo de recolha de dados - Medida de Reflexão Epistemológica (MER) 269

Lista de Figuras

Página

Figura I - Diagrama sobre as metodologias de ensino integradas na Aprendizagem Orientada para a Investigação. 5

Figura 1.1 – As dezasseis competências genéricas requeridas pelos estudantes para o século XXI. 18

Figura 1.2 – Diagrama evidenciando a relação entre diferentes tipos de competências e habilidades. 20

Figura 1.3A - *Links* de comunicação interpessoal possíveis para nove estudantes e um tutor. 29

Figura 1.3B - Sessão didática típica com comunicação em apenas um sentido (*one-way*). 29

Figura 1.4 - O processo cíclico da ABRP. 32

Figura 1.5 – Tipos de conhecimento do mundo..... 36

Figura 1.6 - Modelo conceptual para a elaboração de problemas na ABRP - modelo 3C3R. 38

Figura 2.1 – A Geologia Ambiental como produto da interação entre a Geomorfologia Aplicada, a Engenharia Geológica e a Geologia Económica..... 65

Figura 2.2 – As pessoas usam recursos (fontes) do meio ambiente e devolvem os resíduos novamente para o meio ambiente (sumidouros). Os problemas ambientais podem advir da depleção dos resíduos e poluição dos sumidouros..... 66

Figura 2.3 – Os elementos do risco. A avaliação do risco envolve o estabelecimento da probabilidade e caracterização dos efeitos físicos dos perigos naturais, assim como a incorporação de aspetos sociais e económicos como a localização, a exposição aos efeitos e a vulnerabilidade. 76

Figura 2.4 – Exemplificação de uma situação de "risco". O perigo é o comboio (expresso no sinal), que é caracterizado pelo tipo, severidade (expressa pela velocidade), frequência, etc. A exposição corresponde aos que estão sob a possível influência do perigo, neste caso, aquele que se encontra na linha de comboio. 77

Figura 2.5 – – Principais acidentes tectónicos nos Açores. CMA - Crista Média-Atlântica, FG – Falha Glória; RT – Rifte da Terceira; TSJ – Transformante de São Jorge; ZFBA – Zona de Fratura Banco Açor; ZFBPA – Zona de Fratura Banco Princesa Alice; ZFEA – Zona de Fratura Este dos Açores; ZFFP – Zona

de Fratura Faial–Pico; ZFNA – Zona de Fratura Norte dos Açores; ZFOA – Zona de Fratura Oeste dos Açores. 82
Figura 2.6 - Atividade vulcânica registada nos Açores, desde o início do seu povoamento, no século XV. 83
Figura 2.7 - Resultados da pesquisa efetuada antes e após o sismo de 1906, na falha de Santo André. Os pontos de A a G estavam originalmente alinhados. Lentamente, a linha foi sendo dobrada para a posição A'-G'. De repente, as rochas fraturaram e sofreram um deslocamento ao longo do plano de falha, passado os pontos de pesquisa a estarem posicionados segundo A'O e PG'. 84
Figura 2.8 - O conceito de "ciclo sísmico". 86
Figura 2.9 - Diferença nos tempos de chegada das ondas P e S em função da distância ao epicentro. O sismograma tem uma diferença de chegada de 8 minutos; o sismo ocorreu a cerca de 5 500 km de distância. 87
Figura 2.10 - Localização do epicentro do sismo utilizando os dados de várias estações sísmicas. 87
Figura 2.11 - Localização do epicentro a partir da interseção das distâncias epicentrais de cinco estações sísmicas. 87
Figura 2.12 - Falhas existentes na região de São Francisco, ilustrando a complexidade do conjunto. 91
Figura 2.13 - Mapa de previsão sísmica elaborado em 1988 pelo *U. S. Geological Survey's Working Group on California Earthquake Probabilities*. A altura das barras indica a probabilidade estimada de um sismo de magnitude 6,5-7 no período 1988-2018; a cor das barras indica o nível de confiança na estimativa. 91
Figura 2.14 - Sismicidade ao longo da Falha de Santo André entre 1969-89. A – sismicidade antes do sismo de Loma Prieta e B – sismo principal e réplicas do sismo de Loma Prieta. O diâmetro dos círculos é proporcional à magnitude dos sismos. 92
Figura 2.15 - Vista aérea de secção colapsada da Bay Bridge, após o sismo de Loma Prieta. 93
Figura 2.16 - Vista aérea da auto-estrada Nimitz após o sismo de Loma Prieta. .. 93
Figura 2.17 - Mapa geológico da região de São Francisco e sismogramas obtidos em diferentes tipos de materiais geológicos, numa das réplicas do sismo de Loma Prieta. A amplitude das ondas sísmicas, é menor em rochas consolidadas e antigas (C), comparativamente com as formações (A) e (B), pouco consolidadas e de idade mais recente. 93

Figura 2.18 – Comparação entre a resistência demonstrada durante o sismo de Loma Prieta em função do tipo de construção e *design* de diferentes infraestruturas. 94
Figura 2.19 - – O ciclo dos recursos, ilustrando as etapas envolvidas na exploração, processamento, uso e eliminação dos recursos e a potencial geração de resíduos em cada fase. 96
Figura 2.20 - Patim de observação na área mineira de Terramonte após modelação da escombreira. Vistas gerais da área mineira de Terramonte. 100
Figura 2.21 - O efeito do aumento do declive na resistência relativa de detritos. . 103
Figura 2.22 - Fatores que afetam o ângulo de repouso em materiais não consolidados: teor de humidade e grau de arredondamento das partículas. (A) A areia húmida pode ser empilhada de forma íngreme, com ângulo de repouso elevado. (B) A areia seca tem ângulos de repouso entre 32º a 34º. (C) O cascalho tem um ângulo de repouso intermédio entre os anteriores. 103
Figura 2.23 - Movimento de massa ocorrido a sudoeste de Maierato, Itália, em fevereiro de 2010. 104
Figura 2.24 - Pluviosidade nos 168 dias mais chuvosos consecutivos de cada ano, entre 1919 e 2010, em Maierato. 105
Figura 3.1 - Trabalho colaborativo durante as atividades laboratoriais integrantes do ciclo ABRP, respeitantes à temática: “Estabilidade de Vertentes”. 128
Figura 5.1 – Gráfico relativo à evolução das médias globais no pré e pós-teste, no grupo de comparação e grupo experimental. 166

Lista de tabelas

Página

Tabela 1.1 - Comparação entre AOI, ABRP e ABRPj. 27
Tabela 1.2 - Taxonomia dos problemas, relativamente aos tipos de conhecimento. 37
Tabela 1.3 - Comparação entre problemas bem e mal-estruturados. 39
Tabela 1.4 - As posições de Perry relativamente ao conhecimento e à aprendizagem. 50
Tabela 1.5 - Modelo de Reflexão Epistemológica. 52
Tabela 2.1 - Conteúdos programáticos da UC de GA na FCUP. 70
Tabela 2.2 - Descrição das UC relacionadas com GA no ensino superior público universitário em Portugal. 73
Tabela 2.3 - Classificação dos índices de Geoacumulação e graus de poluição correspondentes. 98
Tabela 3.1 - Sinopses dos cenários abordados durante as aulas teórico-práticas (TP) da UC de GA, categorização do tipo de problema de acordo com a classificação de Schmidt e Moust (2010) e tópicos de conteúdos associados a cada temática. 114
Tabela 3.2 - Resumo da distribuição temporal das atividades planificadas no decorrer do Programa de Intervenção, do primeiro semestre letivo de 2012/13 da UC de GA, na FCUP. 117
Tabela 4.1 – Questão de investigação (Q2), hipótese de investigação, hipótese nula e hipótese alternativa do estudo quasi-experimental. 139
Tabela 4.2 - Questão de investigação (Q3), hipótese de investigação, hipótese nula e hipótese alternativa do estudo quasi-experimental. 139
Tabela 4.3 - Natureza do método de investigação, questões de investigação, momentos de avaliação, participantes, instrumentos de recolha de dados e técnicas de análise de dados das duas fases do presente estudo. 141
Tabela 4.4 - Relação entre a questão de investigação, hipótese de investigação, design de investigação, estatuto das variáveis e técnicas de análise dos dados. . 142
Tabela 4.5 - Caracterização sociodemográfica dos participantes no estudo. 144
Tabela 4.6 – Resenha das principais tipologias de questões. 147
Tabela 5.1 – Categorização das questões colocadas pelos estudantes face aos cenários problemáticos dos trabalhos teórico-práticos na UC de GA. 160

Tabela 5.2 – Valores de estatística descritiva obtidos no pré-teste de conhecimentos dos estudantes da UC de GA., no grupo experimental e no grupo de comparação (*design* intergrupo). 164
Tabela 5.3. – Valores de estatística obtidos no pré-teste dos estudantes da UC de GA, em termos globais e relativamente a cada um dos grupos de questões (QI, QII, QIII, QIV e QV), considerando um *design* intergrupo. 165
Tabela 5.4. – Valores de estatística descritiva no pós-teste dos estudantes da UC de GA (*design* intergrupo). 166
Tabela 5.5. – Valores de estatística no pós-teste dos estudantes da UC de GA, em termos globais e relativamente a cada um dos grupos de questões (QI, QII, QIII, QIV e QV), considerando um *design* intergrupo. 167
Tabela 5.6. – Evolução da aprendizagem intragrupo da UC de GA (amostras emparelhadas), em termos globais e relativamente a cada um dos grupos de questões (QI, QII, QIII, QIV e QV). 168
Tabela 5.7. – Categorização das questões do teste de conhecimentos, segundo o nível cognitivo. 169
Tabela 5.8 – Modos de conhecimento dos estudantes da UC de GA, de acordo com os domínios papel dos estudantes, papel dos professores, papel dos colegas, papel da avaliação e natureza do conhecimento, segundo o modelo MER. 171
Tabela 5.9 – Modos de conhecimento no ensino superior (simples vs. complexo). 174

Lista de abreviaturas

ABRP - Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas

GA – Geologia e Ambiente

FCUP – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

UC – Unidade Curricular

PI – Programa de Intervenção

EA – Educação Ambiental

EDS – Educação para o Desenvolvimento Sustentável

Introdução

1. Contextualização do estudo

As recentes alterações científicas, tecnológicas, sociais e económicas tendem a convergir para um novo modelo de sociedade. Nos últimos anos, temos assistido a uma transição entre a "Sociedade Industrial" e a "Sociedade do Conhecimento" que, em vez de se constituir como um recetor submisso, exige um conhecimento robusto, com múltiplas valências e que ultrapassa as fronteiras disciplinares (Pereira, 2007). Em simultâneo, a "Quarta Revolução Industrial", num século XXI em permanente mudança, atribui à educação um papel importante de adaptabilidade e resiliência (Marope, Griffin & Gallagher, 2017). Tal como defende Ferreira (2009):

> "A modernização mais importante que pode ocorrer numa sociedade situa-se no plano da educação e da formação. Ainda que, necessariamente, mais lenta, porque envolve uma alteração de paradigmas, de preferências, de atitudes e de comportamentos, compreende uma transformação profunda nas dimensões humana e sociocultural, sendo o fundamento para um novo ciclo de cidadania, qualidade de vida, produtividade e desenvolvimento sustentável". (p.1)

Sob o ponto de vista teórico, segundo Cachapuz, Praia e Jorge (2000), as perspetivas de ensino das ciências têm vindo a evoluir, enquadradas por parâmetros epistemológicos, sociológicos, psicológicos e didático-pedagógicos distintos, como são exemplo o ensino por transmissão, ensino por descoberta, ensino para a mudança conceptual e ensino por pesquisa. De acordo com a mesma fonte, todas estas perspetivas "ainda são, hoje em dia com maior ou menor ênfase, seguidas por diferentes professores" (p.1). Tal poderá significar, na prática, que a evolução há muito preconizada, ou seja, de modificação efetiva de metodologias de ensino e aprendizagem em contexto escolar/académico, não se tenha refletido nas práticas pedagógicas quotidianas dos docentes. Aliás, não existe grande evidência de que o sistema educacional português esteja orientado para a formação de cidadãos cientificamente informados (Galvão, Reis, Freire & Faria, 2011). Valoriza-se apenas a aprendizagem de um corpo de conhecimentos ou de processos, sem garantir que tais aprendizagens se tornarão úteis no dia-a-dia numa perspetiva para a ação (Cachapuz et al., 2000). Assim, o défice de cultura científica no nosso país constitui um problema social, traduzindo-se também num défice de cidadania, ao acarretar uma menor

perspetiva da compreensão das questões atuais (Fonseca, Vasconcelos, Alho & Lopes, 2010). Contudo, como defende Fiolhais (2011), tão ou mais importantes que os conhecimentos científicos, são as competências desenvolvidas na escola para permanecerem ao longo da vida. Para Tenreiro-Vieira (2004) o ensino das ciências deve promover competências de pensamento crítico para que futuros cidadãos possam enfrentar as mudanças, bem como participar ativamente numa sociedade democrática, na qual as decisões pessoais e políticas ligadas à ciência e à tecnologia envolvem, muitas vezes, interesses económicos e sociais. À medida que o mundo se torna cada vez mais dependente da tecnologia, apenas indivíduos com competências para trabalhar de modo colaborativo e autonomamente, com capacidade de resolução de problemas, terão sucesso (Ronis, 2008). Neste sentido, os desafios permanentes com os quais o indivíduo é confrontado no seu quotidiano, gera uma maior necessidade de formular questões pertinentes e colocar hipóteses perante cenários reais, cuja complexidade depende de múltiplos fatores. As exigências atuais passam pela resolução de problemas e apuramento do pensamento crítico, implicando um tipo de raciocínio multidimensional, que apela à mobilização de competências de índole diversa.

Face ao exposto, os elevados níveis de literacia científica exigidos aos cidadãos e a rápida evolução do conhecimento científico, conduzem à reavaliação do papel do professor. Assim, o foco deve passar da mera transmissão de conhecimentos para a criação de situações em que o estudante possa aprender a aprender (Leite & Esteves, 2005). Esta mudança paradigmática poderá ser extensível a qualquer nível de ensino, mesmo o universitário.

O ensino superior assume, por isso, particular relevância, ao constituir-se como centro privilegiado de produção de conhecimento e, geralmente, como última etapa de educação e formação antes do ingresso no mundo do trabalho. De acordo com a UNESCO (2009), as instituições de ensino superior têm um papel preponderante, se considerarmos que um dos pontos defendidos é o de que promovam a interdisciplinaridade, através do pensamento crítico e da interligação efetiva entre ciência e sociedade. Para Pereira e Marques (2014, p. 5927), “o ensino superior não pode ser mais realizado a partir da transmissão de conhecimentos, mas por meio da construção, coparticipação e da mediação entre docentes, discentes e a conjuntura social, política, económica e cultural”. Ou seja, as instituições devem adaptar-se às novas correntes internacionais, que viram espelhadas na Declaração de Bolonha uma nova conceção de educação e formação dos jovens universitários.

O Processo de Bolonha alicerçou-se fortemente na modificação do paradigma de ensino, de um modelo caracterizado pela aquisição de conhecimentos, para um modelo que pretende alcançar o desenvolvimento de competências (Reis & Camacho, 2009). Este propósito fundamental é evidenciado no Decreto-Lei n.º 74/2006, de 24 de março (alterado posteriormente pelos Decretos-Lei n.º 107/2008 e n.º 230/2009), que regulamenta as alterações introduzidas pela Lei de Bases do Sistema Educativo, em Portugal, relativas ao novo modelo de organização do ensino superior, instituindo os três ciclos de estudos decorrentes do Processo de Bolonha: (1) primeiro ciclo de estudos/Licenciatura; (2) segundo ciclo de estudos/Mestrado e (3) terceiro ciclo de estudos/Doutoramento. É neste contexto que a metodologia se deve focar no processo de aprendizagem (o estudante e a sua capacidade de aprendizagem) e não no processo de ensino (o professor). Novos modos de encarar o papel dos docentes e dos estudantes são desenhados, concedendo aos segundos um papel mais ativo no seu processo de aprendizagem (Fernandes, 2010). A interação professor-aluno deverá, deste modo, ultrapassar a mera constatação da correção ou incorreção de uma dada solução, passando a ser uma relação exploratória, crítica e construtiva, componente essencial num processo de desenvolvimento que se quer mútuo (Ferreira, 2009).

A perspetiva de Aprendizagem Orientada para a Investigação (do inglês, "*Inquiry-Based Learning*") procura responder a estes desafios incorporando metodologias diversificadas, onde se podem incluir, desde que devidamente dirigidas para esse fim, a Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas (do inglês, "*Problem-Based Learning*") e a Aprendizagem Baseada na Resolução de Projetos (do inglês, *"Project-Based Learning"*), conforme se apresenta esquematizado na Figura I.

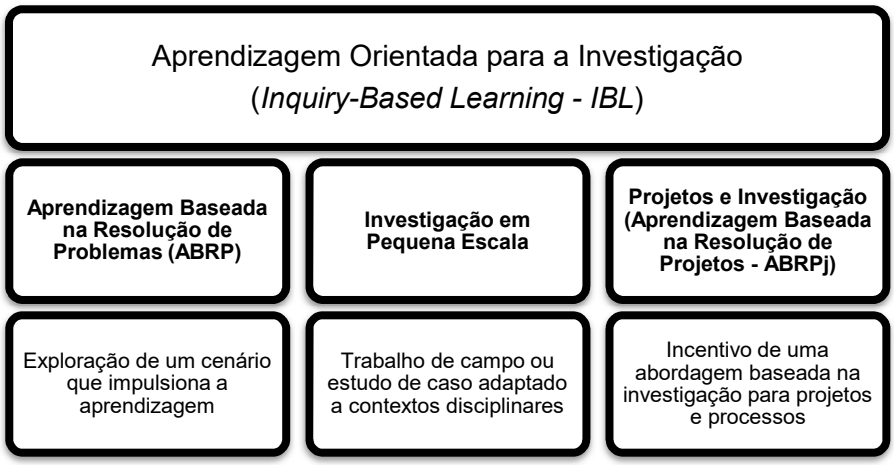


Figura I – Diagrama sobre as metodologias de ensino integradas na Aprendizagem Orientada para a Investigação. Adaptado de "*What is Enquiry-Based Learning (EBL)?*", http://www.ceebl.manchester.ac.uk/ebl/, consultado em maio de 2011.

Note-se que a Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas (ABRP) constitui uma metodologia relativamente recente em Portugal, apesar de ser utilizada há algumas décadas em muitas instituições internacionais de ensino superior, nomeadamente europeias, norte-americanas e australianas (Savery, 2006). Caracteriza-se por um cunho fortemente sócio-construtivista, uma vez que deve ser utilizado o trabalho de pares, ocupando o professor (tutor) a função de mediador da aprendizagem, sendo atribuído ao aluno o papel de maior relevo neste processo. Os cenários problemáticos são o ponto de partida nesta metodologia, baseiam-se em situações reais ou hipotéticas, mas devem ser sempre elaborados tendo em conta o interesse do estudante ou o contexto no qual este se insere, o que pressupõe, sob o ponto de vista epistemológico, que o estudante não é uma página em branco (Vasconcelos & Almeida, 2012). Durante o processo de cíclico da ABRP, na análise ao cenário problemático, geralmente em grupos de trabalho, os estudantes planeiam, coletam e sintetizam informação de múltiplas fontes e comunicam as suas ideias, procurando avaliar-se a sua capacidade de questionamento, de compreender e usar informação disponível, nomeadamente, a aplicação de conceitos científicos para construir e avaliar possíveis ações (McConnel, Parker & Eberhardt, 2017). Para os autores Pinto, Torres, Moutinho, Almeida e Vasconcelos (2015, p. 667), "o papel do questionamento é indubitável no desenvolvimento do raciocínio científico e de uma cidadania ativa alicerçada numa posição crítica e reflexiva". De salientar que King e Kitchener (1994) defendem que a resolução de um "problema" vai para além de um mero algoritmo. No entanto, geralmente no campo das ciências, os problemas correspondem a exercícios apresentados pelo professor ou manual escolar (Palma & Leite, 2006). Tendo em conta a nomenclatura utilizada por King e Kitchener (1994), os problemas podem ser considerados "bem-estruturados" (resolvidos com um elevado grau de certeza, como no caso de uma equação algébrica) ou "mal-estruturados" (não podem ser resolvidos com um elevado grau de certeza e os peritos nem sempre concordam quanto à sua solução). O modo como os estudantes lidam com os problemas, sobretudo os mal-estruturados, implica um verdadeiro pensamento reflexivo, sendo esta uma faceta do pensamento que tem sido negligenciada na educação. Neste sentido, podemos considerar que os problemas mal-estruturados poderão corresponder aos cenários problemáticos, enquadrados no âmbito da ABRP, encerrando amplas potencialidades de exploração em termos didáticos. Aqueles podem, assim, constituir-se como um desafio, não só em termos de conteúdo científico, como também a nível de desenvolvimento dos processos cognitivos do pensamento dos estudantes. Note-se que, relativamente à complexidade de

pensamento dos estudantes do ensino superior, existem vários modelos que tentam explicar a sua evolução, de entre os quais se destaca o Modelo de Reflexão Epistemológica de Baxter Magolda (Faria, Soares, Silva & Bastos, 2015). Este focaliza-se na interpretação do modo como os indivíduos perspetivam o conhecimento – modos de conhecimento (*ways of knowing*), categorizados em quatro graus de progressão em termos de complexidade: (1) modo de conhecimento absoluto; (2) modo de conhecimento de transição; (3) modo de conhecimento independente e (4) modo de conhecimento contextual. Esta progressão tem como referência cinco domínios: (i) o papel do estudante; (ii) o papel dos colegas; (iii) o papel do professor; (iv) papel da avaliação e (v) a natureza do conhecimento. Felder e Brent (2004b) defendem que o modo de conhecimento contextual se deveria constituir como o objetivo da formação académica, sobretudo em áreas como as ciências, que supostamente confrontam os estudantes com a incerteza do conhecimento.

Em termos de investigação, a maior parte dos estudos no âmbito da ABRP realizados a nível internacional têm como foco de interesse a área da medicina (Yew & Goh, 2016). No panorama nacional concentram-se, sobretudo, no terceiro ciclo do ensino básico, sendo poucos os trabalhos que abrangem o domínio das geociências e ambiente direcionados para o ensino superior, o que constitui objeto do presente estudo. Convém, por isso, enfatizar que a Geologia é o estudo da Terra, sendo uma ciência utilizada na resolução de problemas globais e que permite, simultaneamente, desenvolver múltiplas competências cognitivas (Bolacha, 2008). Contudo, o uso que se tem vindo a fazer do conhecimento geológico foi evoluindo ao longo dos tempos, sob abordagens distintas. Tanto se enalteceu a sua vertente mais economicista e utilitarista, relacionada com a descoberta e exploração dos recursos minerais, como, mais recentemente, se procuram soluções para os problemas ambientais. Assim se explica o surgimento e gradual consolidação da Geologia Ambiental, a partir de finais do século XX. Parafraseando Orion e Ault (2007):

> "A tendência de aumento da investigação pluri e interdisciplinar no âmbito das ciências, através da ciência e de outros campos, tem tido um impacto conspícuo nas ciências da Terra. Durante décadas uma nova área cresceu rapidamente: a *Geologia Ambiental".* (p.13)

A Geologia Ambiental abrange atualmente um vasto campo de ação que inclui: (1) gestão dos recursos geológicos; (2) compreensão do ambiente geológico; (3) utilização adequada do ambiente geológico para o confinamento de diferentes tipologias de resíduos e (4) reconhecimento e mapeamento de áreas de risco

associados a fenómenos geológicos (Dias, 2007). Contudo, deve referir-se que, se na Europa Ocidental, o ambientalismo surgiu após a 2ª Guerra Mundial, em Portugal, as manifestações em prol da causa ambiental ocorreram a partir da queda do Estado Novo (Almeida, 2007). Inequivocamente, a política educativa da primeira parte do século XX português foi marcada por um baixo investimento em ciência e tecnologia, traduzindo-se numa cultura fechada, que conduziu o país a décadas de atraso socioeconómico e científico-tecnológico (Fonseca et al., 2010). Por isso, a emergência mais tardia das preocupações em termos ambientais adicionou mais alguns obstáculos à sua concretização, se atendermos a que a realidade curricular portuguesa não diverge significativamente da de outros países (Almeida, 2007). No entanto, pode considerar-se que a Geologia Ambiental tem vindo a expandir-se a um ritmo acelerado, de um modo paralelo à crescente relevância atribuída à Educação Ambiental (Bacci, 2009). No contexto do ensino superior português, o reconhecimento da Geologia Ambiental enquanto domínio do saber pode ser aferido através da sua inclusão em grande parte dos cursos de geociências, nos quais se observam linhas orientadoras comuns em termos de conteúdos curriculares (como por exemplo, temáticas relacionadas com os riscos e riscos e perigos associados à atividade sísmica, vulcânica, deslizamento de terras, inundações e erosão costeira; medidas de prevenção e mitigação de riscos geológicos; consequências da utilização dos recursos naturais ou alterações climáticas).

Na Sociedade do Conhecimento, é premente implementar de modo efetivo uma nova prática de ensino-aprendizagem, que privilegie a problematização, fundamentada na investigação e com recurso a atividades motivadoras e menos espartilhadas, que permitam a adaptação a contextos reais úteis num emprego futuro. Saliente-se o facto de o sistema Terra requerer uma efetiva visão integradora por parte de quem o estuda, exigindo maior grau de inter-relação entre os conhecimentos provenientes de diferentes áreas. A Geologia Ambiental integra várias áreas disciplinares direcionadas para a resolução de problemas cuja resposta exata não existe ou são apontadas várias soluções que espelham diferentes teorias. O potencial didático da metodologia ABRP, aplicado à resolução deste tipo de problemas que envolvem a um percurso investigativo cíclico de natureza colaborativa, pode contribuir para a melhoria de competências diversificadas dos estudantes no ensino superior, sustentando uma formação académica mais consentânea com os desafios do século XXI, aos quais a Declaração de Bolonha tenta dar resposta.

2. Problema, objetivos, questões e hipóteses de investigação

O presente estudo teve como referência o seguinte problema global: investigar se a metodologia ABRP permite melhorar a aprendizagem dos estudantes em termos de desenvolvimento de competências de questionamento, compreensão de conceitos e potenciação dos modos de conhecimento a partir de cenários problemáticos, em estudantes que frequentam a UC de GA no ensino superior.

A finalidade desta investigação é contribuir para uma mudança nas metodologias de ensino e aprendizagem a nível do ensino superior, promovendo a ABRP como uma metodologia capaz de surtir efeito positivo nos estudantes da área das ciências naturais.

Para a consecução desta finalidade, delinearam-se três questões de investigação:

Questão de investigação (Q1) - De que modo os diferentes tipos de cenários, utilizados na metodologia ABRP, contribuem para o desenvolvimento de competências de questionamento nos estudantes?

Questão de investigação (Q2) – Será que que a metodologia ABRP favorece a aprendizagem de conceitos científicos, por parte dos estudantes, na área de GA?

Questão de investigação (Q3) – Será que a ABRP promove o desenvolvimento dos modos de conhecimento (*ways of knowing*) mais complexos dos estudantes?

As questões anteriormente elencadas pautaram-se pelos seguintes objetivos específicos:

(1) apreciar o tipo de questionamento dos estudantes face aos cenários problemáticos de GA;

(2) analisar a construção de conhecimento substantivo, mediante a implementação de uma nova metodologia de ensino (ABRP), em comparação com a metodologia tradicional de ensino da UC;

(3) avaliar a contribuição da metodologia ABRP para os modos de conhecimento dos estudantes de ensino superior.

No sentido de dar resposta às questões enunciadas, realizou-se um estudo dirigido aos estudantes que frequentaram a componente teórico-prática da unidade curricular (UC) de Geologia e Ambiente (GA), na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP), em aulas de duas horas semanais. De referir que a UC em análise comportava quatro horas de aulas no total por semana, repartidas igualmente entre a componente teórica e téorico-prática.

Os participantes, pertencentes a quatro turmas, foram divididos em dois grupos. Duas turmas foram sujeitas ao Programa de Intervenção (PI), no qual foi aplicada a metodologia ABRP (grupo experimental) e duas foram submetidas à metodologia de ensino tradicional da UC (grupo de comparação). Durante as nove semanas de duração PI, exploraram-se quatro trabalhos teórico-práticos relativos às seguintes temáticas: (1) vulcanologia e prevenção do risco vulcânico, tomando como o exemplo o caso da ilha do Corvo (Açores); (2) avaliação, previsão e prevenção de sismos, tendo por referência o sismo de Loma Prieta, na Califórnia, EUA, em 1989; (3) abandono mineiro e dispersão de contaminantes em meio hídrico, com particular ênfase no caso do abandono da mina de Terramonte, Castelo de Paiva e (4) a estabilidade das zonas de vertente, focando-se o caso do deslizamento de terras em Maierato, Itália, em 2010.

A metodologia de investigação utilizada correspondeu a uma combinação de métodos, do tipo triangulação metodológica. O plano de investigação do presente estudo integrou duas fases: a primeira de natureza qualitativa (decorrente da questão-de investigação Q1) e a segunda, de natureza quantitativa (quasi-experimental), com recurso a testes estatísticos, que abrangeu as questões de investigação (Q2) e (Q3).

Relativamente à questão de investigação (Q1), as questões levantadas pelos estudantes em grupo de trabalho, registadas em ficha própria e sistematizadas perante os restantes colegas, foram categorizadas posteriormente de acordo com o seu nível cognitivo, com recurso à técnica de análise de conteúdo.

No sentido de dar resposta à questão (Q2), recorreu-se à aplicação de um pré e pós-teste de conhecimentos, que foi sujeito a testes estatísticos não paramétricos a fim de se testar a hipótese H1:

Hipótese nula (H_0) - Não há diferença de desenvolvimento de conhecimento substantivo entre os estudantes do grupo experimental (submetidos à metodologia tradicional) e os estudantes do grupo de comparação (submetidos à metodologia ABRP).

Hipótese alternativa (H_1) - Os estudantes do grupo experimental (submetidos à metodologia tradicional) diferem dos estudantes do grupo de comparação (submetidos à metodologia ABRP) em termos de desenvolvimento de conhecimento substantivo.

No que concerne à questão (Q3), o estudo foi conduzido através da análise estatística dos resultados obtidos a partir da Medida de Reflexão Epistemológica de Baxter Magolda (MER, Baxter Magolda & Porterfield, 1985; versão portuguesa, Bastos & Faria, 2003), recorrendo-se a um teste estatístico para testar a hipótese H_2:

Hipótese nula (H_0) - Não há associação entre os modos de conhecimento dos estudantes e o tipo de metodologia de ensino aplicada em contexto de sala de aula (ABRP ou metodologia tradicional).

Hipótese alternativa (H_2) - Há associação entre os modos de conhecimento dos estudantes e o tipo de metodologia de ensino aplicada em contexto de sala de aula (ABRP ou metodologia tradicional).

Deste modo, as hipóteses anteriormente apresentadas partiram do pressuposto que metodologias de ensino e aprendizagem promotoras de um papel mais interventivo do estudante, como o caso da ABRP, poderão promover uma resposta mais efetiva aos desafios colocados no ensino superior, em áreas científicas como a GA, tanto no que se refere à evolução de conhecimento substantivo no domínio, como no desenvolvimento de modos de conhecimento mais complexos.

3. Organização do trabalho

O presente trabalho encontra-se genericamente estruturado em cinco capítulos. Os dois primeiros capítulos constituem os alicerces teóricos que suportam o estudo empírico realizado, procedendo-se a uma análise do quadro de referência da ABRP (no capítulo I) e da GA (no capítulo II). O terceiro capítulo, dedicado à fundamentação do Programa de Intervenção, estabelece a conexão com o estudo

empírico realizado, segundo a metodologia de investigação descrita no quarto capítulo e cuja discussão e análise dos resultados é realizada no quinto e último capítulo.

O capítulo I inicia-se com a revisão de literatura, ou estado da arte, sobre a metodologia ABRP. Procede-se a um enquadramento geral desta metodologia, através da identificação dos seus pressupostos, assim como linhas orientadoras que a diferenciam de outras metodologias. Realiza-se uma análise aprofundada da ABRP, tendo em consideração documentos orientadores a nível europeu e mundial, que reconhecem a capacidade de resolução de problemas como uma das competências-chave no século XXI. Mostra-se a existência de um amplo domínio de investigação sobre a metodologia em questão, a partir de resultados empíricos obtidos acerca da ABRP em investigações de caráter nacional e internacional. Estas permitem apurar a escassez de temáticas relacionadas com a aplicação daquela metodologia no domínio da GA, no contexto do ensino superior. O capítulo é finalizado com um subtema dedicado à evolução da complexidade do pensamento dos estudantes do ensino superior, destacando-se o Modelo de Reflexão Epistemológica de Baxter Bagolda (1992), cujo instrumento de Medida de Reflexão Epistemológica (MER, Baxter Magolda & Porterfield, 1985; versão portuguesa, Bastos & Faria, 2003) é utilizado na presente investigação.

O capítulo dois coloca a tónica na área científica da GA, explorando-se os contributos relevantes da Geologia para a Educação Ambiental. De seguida, procede-se ao levantamento da GA enquanto unidade curricular de diferentes cursos pertencentes a várias instituições de ensino público universitário, estabelecendo-se os pontos convergentes e divergentes nessa área. Finaliza-se o capítulo com a fundamentação teórica subjacente à construção dos cenários problemáticos explorados durante as aulas do PI – "*Vulcanologia e Prevenção do Risco Vulcânico"*, "*Sismos: avaliação, previsão e prevenção*", "*Abandono mineiro e dispersão de contaminantes em meio hídrico*" e "*Estabilidade das zonas de vertente*"

A terceira parte do presente estudo consubstancia-se na apresentação do PI previamente elaborado, bem como respetiva base e conceptualização e características da sua implementação. Neste âmbito, descrevem-se os cenários problemáticos de um modo mais aprofundado e justificam-se as escolhas efetuadas. Procede-se igualmente a uma descrição da estrutura e dinâmica das aulas, baseadas no processo cíclico da ABRP, que decorreram durante nove semanas, na unidade curricular de GA da FCUP.

O quarto capítulo é dedicado à metodologia de investigação seguida neste estudo - combinação de métodos, do tipo triangulação metodológica. É exposto o problema genérico, assim como a finalidade que se pretende atingir em termos gerais, apontando igualmente os respetivos objetivos específicos, de acordo com o domínio de investigação em causa. Tendo em consideração o plano de investigação do estudo empírico que foi desenvolvido em duas fases (a primeira de natureza qualitativa e a segunda de natureza quantitativa), enunciam-se as questões-problema e as hipóteses que nortearam o estudo quantitativo. Procede-se, em seguida, à caracterização da amostra e das técnicas e instrumentos de recolha de dados que foram utilizados – registo durante as aulas das questões colocadas pelos estudantes, pré e pós-teste de conhecimentos e a Medida de Reflexão Epistemológica (MER) de Baxter-Magolda. Apresentam-se as características dos instrumentos de colheita de dados e reportam-se os procedimentos de recolha de dados realizados, bem como as estratégias de análise qualitativa e estatística da informação recolhida.

A apresentação e discussão dos resultados integram o quinto capítulo, que se divide em quatro secções. Inicialmente, tendo por referência a primeira fase do estudo de natureza qualitativa, é realizada a análise de conteúdo das questões colocadas pelos estudantes relativas a cada um dos cenários problemáticos. Na secção seguinte, procede-se à análise da evolução da aprendizagem no domínio da GA, através dos resultados estatísticos obtidos no pré e pós-teste de conhecimentos, tendo em consideração o seu grau de significância estatística. Os resultados estatísticos relativos à identificação dos modos de conhecimento dos estudantes no ensino superior perfazem a terceira secção deste capítulo. Seguidamente, apresenta-se a secção da discussão dos resultados obtidos, através de uma perspetiva crítica e comparativa perante os dados de estudos empíricos a nível nacional e internacional.

Para finalizar, as principais conclusões são sistematizadas na última secção desta tese, relevando as ideias globais e os resultados alcançados que poderão contribuir para o avanço do conhecimento no domínio da ABRP, aplicada no contexto da GA. Apontam-se, igualmente, limitações inerentes à investigação efetuada. Perante novas interrogações desencadeadas por esta investigação, empreendem-se algumas sugestões para o estudo de temas de índole científico-pedagógica, abrindo possíveis caminhos a serem trilhados no futuro.

Capítulo I

A Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas

1.1. Sobre a Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas

Recentemente, as instituições que constituem referências na área da educação a nível mundial, têm vindo a realizar uma série de recomendações para os desafios que o ensino enfrenta em qualquer nível de escolaridade, no século XXI.

No relatório da OCDE (2008), decorrente da conferência internacional "*Learning in the 21st Century: Research, Innovation and Policy*", encontramos a seguinte frase impactante na primeira página: *Learning is central in knowledge-based societies and economies*. No conteúdo restante da publicação, entre outras análises e asserções, reitera-se a importância da literacia e da capacidade de resolver problemas para uma bem-sucedida aprendizagem ao longo da vida (*life long learning*) da próxima geração, questionando-se em que medida a metodologia tradicional de ensino será adequada ao século XXI.

Por sua vez, no documento da UNESCO intitulado "*The Futures of Learning 1: Why must learning content and methods change in the 21st century?*", da autoria de Scott (2015), é sublinhado que a educação deverá preparar os alunos para cenários de resolução de problemas, que não têm soluções evidentes, dado que os desafios do mundo real são altamente complexos e de natureza interdisciplinar. Para além disso, os alunos devem ter oportunidades de refletir sobre as suas ideias, reforçar as suas capacidades criativas, demonstrar iniciativa, construir novas capacidades e aumentar a sua autonomia.

De acordo com o relatório do *World Economic Forum* (2016), podemos considerar que estamos no início da "Quarta Revolução Industrial" (também denominada Indústria 4.0), resultado do desenvolvimento interconectado de áreas como a biotecnologia, a robótica, a nanotecnologia, a inteligência artificial, cujo impacte também se repercute no emprego, competências e educação. A projeção de capacidades de emprego requeridas para 2020 segundo a organização atrás referida aponta, em primeiro lugar, para a "resolução de problemas complexos", seguida do "pensamento crítico" e "criatividade". Neste contexto, para os autores Marope, Griffin e Gallagher (2017), a permanente mudança no século XXI em conjunto com a Indústria 4.0, releva o papel da educação enquanto fonte de adaptabilidade e resiliência.

O relatório da Comissão Europeia (2017) "*School development and excellent teaching for a great start in life*", defende que se a aprendizagem for articulada com experiências da vida real leva a melhores resultados. Destaca a ABRP como uma das metodologias que aumenta a motivação dos estudantes, ao colocar o indivíduo no seu contexto e oferecer oportunidades para o desenvolvimento de competências sociais, cívicas e de empreendedorismo. Assim, a educação em ciência é mais eficaz quando interligada com desafios económicos, ambientais, sociais ou com a arte e *design*, demonstrando a sua relevância na vida quotidiana.

Deste modo, na sociedade atual, que reflete um mundo cada vez mais globalizado, a formação de cidadãos passa pelo desenvolvimento de capacidades em vários domínios e na possibilidade da sua aplicação no quotidiano, a situações novas, desafiadoras e de cariz transversal (Figura 1.1).



Figura 1.1 – As dezasseis competências genéricas requeridas pelos estudantes para o século XXI (adaptado de World Economic Forum, 2015, p. 3).

De facto, há um conjunto crescente de profissões que requer aptidões e o esforço de pensar criativamente, que exige o saber colaborar em equipas e pequenos grupos. Também é necessário demonstrar competências versáteis de comunicação e capacidade de aprender ao longo da vida, tomar decisões e analisar problemas reais e complexos, obrigando à mobilização de conhecimentos que permitam encontrar soluções defensáveis e ajustadas à sua resolução (Allen & Duch, 1998; Jonassen & Hung, 2008; Ronis, 2008; Vasconcelos & Almeida, 2012). Tenreiro-Vieira e Vieira (2000) alertam para que "face ao progresso atual, a grande maioria dos conhecimentos válidos hoje estarão obsoletos num curto intervalo de tempo" (p.14). Urge, tal como Zabit, Karagiannidou e Zachariah (2016) sublinham, ser menos dependentes do tipo de instrução "*one size fits all*" (p.31), tendo presente que o objetivo da educação é o desenvolvimento holístico do aluno (Baxter Magolda, 2001). Assim, nesta linha de pensamento, os autores Marope, Griffin e Gallagher (2017), afirmam que, ao contrário do que ocorre numa mera transmissão de um conteúdo curricular, o desenvolvimento de competências implica algo mais vasto que tem de ser apropriado pelo estudante.

Ressalve-se, contudo, que o conceito de competência (*competence*) tem sido abordado em diversos documentos a nível internacional, havendo pontos de divergência e convergência na sua evolução e definição, sobretudo se tivermos em consideração a tradição anglo-saxónica comparativamente à dos países da Europa latina (UNESCO IBE, 2016a), o que demonstra que "*the very notion of competency, (…) is far from being entirely stabilised*" (UNESCO IBE, 2016a, p. 10). No documento "Glossário de Terminologia Curricular", versão portuguesa, publicado pela UNESCO IBE (2016b), o termo "competência" tem correspondência na língua inglesa com "*competence*"; não obstante, "competência essencial (ou habilidade essencial)" será a tradução de "*key competences/competencies or skills*", "competência genérica" aparece traduzido de "*key competences/competencies or skills; twenty-first century skills*" (p. 94); "capacidade" encontra correspondência em "*ability*" (p. 94) e "habilidade" resulta da tradução de "*skill*" (p. 99). Assim, a fronteira entre estes termos parece não ser estanque e a sua definição será provavelmente permeável ao contexto na qual se insere.

Segundo a análise explanada no documento "*A Conceptual Framework for Competencies Assessment*", da UNESCO IBE (2016a), podem ser consideradas três categorias de competências, que têm sempre subjacente o "potencial para agir" (*potential to act*) agrupadas em: (1) saber fazer ou "*know how"*; (2) competências

genéricas e (3) competências situacionais (Figura 1.2). Para cada caso, ao "potencial para agir", acresce, respetivamente, (1) a mobilização de conteúdo educacional/técnico; (2) o contexto, pois uma determinada competência (como, por exemplo, a criatividade), apenas será significativa se for adequada num contexto determinado e (3) o conteúdo educacional ou técnico integrado e mobilizado para lidar com uma situação concreta com um certo grau de abrangência e profundidade (sendo esta considerada a categoria de competências mais complexas). Segundo os autores da publicação atrás referenciada, as habilidades (ou *skills*) corresponderão a um saber fazer (*know how)* mais complexo, mas que não atinge ainda o nível de competência situacional (Figura 1.2).

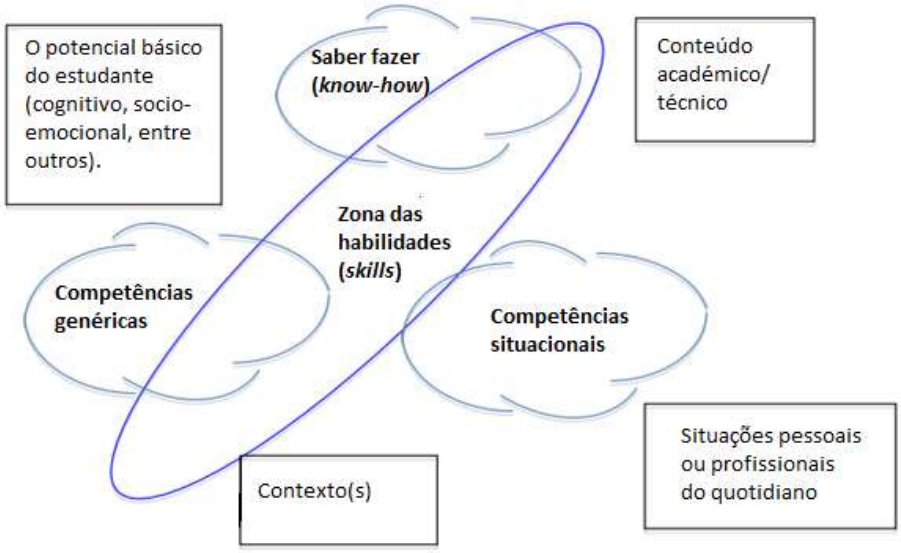


Figura 1.2 – Diagrama evidenciando a relação entre diferentes tipos de competências e habilidades (adaptado de UNESCO IBE, 2016a, p. 26).

Na recomendação do Conselho da União Europeia, de 22 de maio de 2018, na versão portuguesa, as competências são apresentadas como uma construção que resulta da interligação entre "conhecimentos" (*knowledge*), "aptidões" (*skills*) e "atitudes" (*attitudes*). Neste documento, os conhecimentos cingem-se ao domínio de factos, princípios ou teorias numa área disciplinar; as aptidões são capacidades que permitem mobilizar os conhecimentos existentes através de processos para obtenção de resultados e as atitudes decorrem de comportamento perante determinados estímulos, como ideias ou situações. No documento é salientado que "num mundo em rápida mutação e altamente interligado, cada pessoa terá de dispor de um amplo leque de qualificações e competências e de as desenvolver continuamente ao longo da vida" (p.7). Sendo este um dos principais desígnios atuais da União Europeia, o

facto é que a criação da Europa do conhecimento ("*Europe of knowledge*[1]"), inicia a sua concretização na assinatura da Declaração de Sorbonne, em 1998. Esta precedeu a Declaração de Bolonha, assinada em 1999, entre vinte e nove países europeus (atualmente são quarenta e sete os países signatários) e que levou à mais recente restruturação em grande escala do ensino superior em Portugal, tendo como objetivo fundamental a criação de um Espaço Europeu de ensino superior, até 2010 (Reis & Camacho, 2009). Sob a égide de uma Europa unida, em que a educação não conhece fronteiras e o seu crédito é supostamente reconhecido independentemente da nacionalidade, os objetivos gerais da Declaração visam o aumento da competitividade do sistema europeu do ensino superior e a promoção da mobilidade e empregabilidade dos diplomados do ensino superior no espaço europeu, segundo a Direção Geral do ensino superior.

Face a esta nova realidade, um novo desenho curricular de formação superior teve de ser implementado, de acordo com os três ciclos de estudos (licenciatura – mestrado – doutoramento) que, apesar da designação idêntica aos graus académicos previamente existentes no nosso país, implicam menos tempo de formação. Por essa razão, e citando Ferreira (2009): "o paradigma do processo de ensino e aprendizagem subjacente à Declaração de Bolonha exige uma transformação radical das metodologias de ensino e aprendizagem" (p. 7).

Os conceitos e estratégias definidas no Processo de Bolonha para desenvolver a Área de Educação Europeia no ensino superior (*European Higher Education Area* – EHEA), envolve uma modificação nos programas educativos, que têm que se adaptar a processos inovadores de ensino e aprendizagem baseados em (i) alcançar conhecimento específico de acordo com o grau académico e (ii) desenvolver competências para adaptar o conhecimento ao campo profissional de trabalho (Alvarez, Martínes, Rodriguéz-Pérez & Ablanedo, 2006).

O facto é que os conteúdos cognitivos são muitas vezes privilegiados face às competências (como o aprender a aprender, a capacidade para resolver problemas, entre outros) e as metodologias utilizadas favorecem o currículo enciclopédico (Santos, 2002). Com o tempo mais limitado em contexto de sala de aula nas instituições de ensino superior, o estudante deverá desenvolver competências de índole diversa, que o ajudem a enfrentar um mercado de trabalho cada vez mais competitivo, a resolver problemas e a tomar decisões de forma rápida e eficaz, numa perspetiva pró-ativa e ao longo de toda a vida. A economia do conhecimento

[1] "(…) *Europe is not only that of the Euro, of the banks and the economy: it must be a Europe of knowledge as well.*" Declaração de Sorbonne, assinada a 25 de maio de 1998.

enquadra-se no âmbito da sociedade do conhecimento e pressupõe uma aposta forte no aumento dos níveis de competências dos recursos humanos e no desenvolvimento científico e tecnológico (Reis & Camacho, 2009).

A questão central do Processo de Bolonha consiste na mudança de paradigma de ensino, implicando a transição de um modelo passivo, fortemente centrado na aquisição de conhecimentos, para um modelo baseado no desenvolvimento de competências, onde a componente experimental e de projeto desempenham um papel importante (Reis & Camacho, 2009).

Na senda traçada por outros investigadores, também Dolmans, Grave, Wolfhagen e Van Der Vleuten (2005), defendem que a aprendizagem se deverá como um processo simultaneamente:

> (i) construtivo, no qual os alunos (re)constroem as suas redes de conhecimentos;
>
> (ii) auto-dirigido, na medida em que os alunos devem ser estimulados a conduzir o seu processo de aprendizagem, tanto sob a perspetiva cognitiva como motivacional, sendo capazes de adquirir rapidamente novos conhecimentos e competências;
>
> (iii) colaborativo, pois as interações sociais poderão influenciar positivamente a aprendizagem;
>
> (iv) contextualizado, uma vez que os alunos deverão ser expostos a contextos relevantes sob o ponto de vista profissional.

Mennin (2010) refere que, sendo a aprendizagem cada vez mais encarada como uma interação social, a qualidade da informação permutada e do questionamento também constituem fontes de conhecimento. Esta linha de pensamento coaduna-se, na educação em ciência, com a perspetiva "*inquiry-based"*, que enforma um processo dinâmico ao envolver flexibilidade e capacidade crítica (Moutinho, Torres, Fernandes & Vasconcelos, 2015), podendo integrar metodologias diversificadas, de entre as quais a ABRP. Deste modo, a metodologia foca-se no processo de aprendizagem (o estudante e a sua capacidade de aprendizagem) e não no processo de ensino (o professor); esta centralidade do estudante, no sistema de Bolonha, torna-o elemento ativo de um processo de aprendizagem que se pressupõe acontecer ao longo da vida.

Historicamente, tem-se defendido que a metodologia ABRP tem as suas raízes na conceção de John Dewey (1859-1952), no início do século XX, sobre as potencialidades dos instintos naturais dos estudantes para investigar (Demir & Abell, 2010; Delisle, 1997; Schmidt, 1993), e pela crença de que a educação começa com a curiosidade do aluno (Savery, 2006), cabendo ao professor incentivar essas situações. Os estudos de Dewey sublinhavam ainda a distinção entre o processo e o produto do pensamento e como a educação poderia ajudar no desenvolvimento da resolução de problemas e de raciocínio (Kurfiss, 1997). A validade desta metodologia, mais tarde designada em inglês por "*Problem Based Learning*" - representada pela sigla PBL e que, em Portugal, tomou a designação de ABRP (Leite & Afonso, 2001) - terá sido reconhecida por Barrows, professor na Universidade de MacMaster em Ontario, Canadá, que a aplicou em estudantes de Medicina (Delisle, 1997), nos finais dos anos sessenta do século passado (Albanese & Mitchell, 1993; Vasconcelos & Almeida, 2012). A aplicação da ABRP prender-se-ia com o facto de o método tradicional nos cursos de Medicina no ensino superior se basear na memorização de uma enorme quantidade de informação por parte dos futuros médicos, fragmentada, que dificilmente a conseguiam reter na totalidade. Para além disso, este método não os preparava para o mundo real, em que alguns pacientes não seriam capazes de identificar os seus sintomas e outros poderiam até mostrar múltiplos sintomas (Delisle, 1997). Ou seja, tal como McConnell, Parker e Eberhardt (2017) reforçam, os alunos não conseguiam estabelecer a conexão entre o modo como as ideias que tinham memorizado previamente seriam úteis no diagnóstico e tratamento dos pacientes. O desafio seria, por isso, o de encontrar uma metodologia que preparasse estes alunos parar agirem como médicos e não apenas como estudantes que se preparam para um exame académico.

Nas três décadas seguintes, a ABRP foi introduzida em diversas faculdades de Medicina, como por exemplo, na Universidade de Newcastle, Austrália; nas Universidades do Novo México, Sherbrook, Michigan, Delaware, Havai e Harvard, nos Estados Unidos (Albanese & Mitchell, 1993; Barrows, 1996; Chang, 2016; Hillen, Scherpbier & Wijnen, 2010; Savery, 2006). O primeiro currículo europeu baseado na metodologia ABRP terá sido implementado na Holanda, em 1974, na Faculdade de Medicina da Universidade de Maastricht (Yürüker, 2007). Por essa altura, também a Universidade dinamarquesa de Aalborg terá passado a promover um ensino inovador em Medicina e Engenharia, tendo por referência a ABRP (Vasconcelos & Almeida, 2012).

Desde o século XX até à atualidade, a ABRP manteve sempre a sua importância enquanto metodologia de ensino-aprendizagem, verificando-se que a sua aplicação aumenta a cada ano que passa (Demirel & Dağyar, 2016). Por exemplo, no campo da Medicina, a ABRP tem vindo a ser aplicada, com sucesso, ao longo de mais de cinquenta anos (Hung, 2006). Para além desta área científica, a implementação mais generalizada da ABRP no ensino superior, assim como no ensino básico, foi ocorrendo ao longo dos anos noventa do século passado (Hung, Jonassen & Liu, 2008). De acordo com Delisle (1997), a ABRP passou para o terceiro ciclo ensino secundário (*high school*), quando a faculdade do Programa *BioPrep* na Universidade de Alabama desenvolveu um programa para aumentar o número minoritário de candidatos, com carências económicas, aceites nas escolas de Medicina. Face a este novo projeto, Barrows aceitou trabalhar com as escolas do estado de Alabama para desenvolver cursos de anatomia/fisiologia para juniores e seniores. No início dos anos noventa do século passado, a ABRP estava também disseminada por muitas escolas norte-americanas.

Este tipo de ensino não se esgotou nas ciências da saúde e são inúmeros os exemplos de trabalhos que estudaram os seus efeitos nas mais diversas áreas, a saber: Psicologia (Wiggins, Chiriac, Abbad, Pauli & Worrell, 2016); Meteorologia (Charlton-Perez, 2013); Economia (Capon & Kuhn, 2004); Geologia (Smith, Hoersch & Gordon, 1995); Educação Ambiental (Vasconcelos, 2010a); Zoologia (Harland, 2003); Genética (Yew & Schmidt, 2008); Formação de Professores (Amado, 2015); Educação em Ciências do Ambiente (Dahlgren & Öberg, 2001); Física e Química (Palma & Leite, 2006); Geografia (Ferreira & Henriques-Coelho, 2016); Negócio (Zabit et al., 2016); Arquitetura, Direito e Enfermagem (Boud & Feletti, 1997), entre outros.

Se, por um lado, a ABRP foi abordada em diversos domínios científicos, também a sua aplicação alcançou grande espetro mundial: no continente europeu, por exemplo, em países como a Suécia (Dahlgren & Öberg, 2001), Portugal (Palma & Leite, 2006; Vasconcelos, 2010a); no Sudeste Asiático, em países como a Índia, o Nepal e a Tailândia (Rahman, Parveen, Chowhury, & Rouf, 2003) e na América do Sul, como, por exemplo, no Brasil (Amado, 2015).

A educação está geralmente imbuída de um contexto social e a ABRP, em particular, foi parte do contexto de mudança que caracterizou a década de sessenta e setenta do século XX (Hilen, Scherpbier & Wijnen, 2010). Aliás, Neto (2013) sublinha que é a partir dessa altura que aumenta a necessidade de se conseguir globalizar conhecimentos que “a especialização disciplinar do século XIX tinha vindo a

fragmentar, muito em resultado de propostas como a famosa classificação e demarcação positivista das ciências de Augusto Comte" (p. 22).

Contudo, se nos reportarmos a Portugal, nesse tempo (anos setenta e oitenta), dominava a Aprendizagem por Descoberta (Vasconcelos & Almeida, 2012), ainda marcadamente de índole positivista, na qual a ênfase seria a aplicação rigorosa e sequencial do "método científico" por parte do aluno, dando-lhe a ilusão que poderia obter resultados análogos aos dos cientistas, sendo o erro evitado a todo o custo (Cachapuz, Praia & Jorge, 2000). Aliás, tal como Boud e Feletti (1997) advogam, "*to invent knowledge which is already known*" (p.16). O modelo da ABRP procura, segundo Neto (2013):

> "não cair nos equívocos em que incorreu o designado movimento da aprendizagem por descoberta autónoma (…) O modelo não parte, nomeadamente do pressuposto de que o aluno descobre conhecimento, mas antes que é capaz de assimilar e aprender a aplicar conhecimento já produzido à resolução de problemas da vida real (…) desenvolvendo, também, importantes competências cognitivas, afetivas e socioeconómicas que indiscutivelmente lhe virão a ser úteis para a vida em sociedade, aí incluindo o exercício de determinada profissão". (p.30)

Neste enquadramento, podemos afirmar que adoção da ABRP também representou uma mudança da retenção de informação para o desenvolvimento da capacidade de os estudantes aprenderam de modo efetivo e independente. Isto significa que a aprendizagem passiva e a recompensa dos princípios do *behaviorismo* foram substituídas pela aprendizagem ativa, centrada no aluno, em concordância com os (novos) princípios da psicologia cognitivista (Allen & Tanner, 2003; Hilen et al., 2010; Schmidt, 1993). A autoridade e a aprendizagem dedutiva perderam a sua primazia, enquanto a independência, a liberdade e o crescimento pessoal ganharam popularidade crescente (Hilen et al., 2010). Assim, a ABRP, segundo vários autores, pode ser definida como uma metodologia de índole construtivista de ensino-aprendizagem, centrada no aluno, que o capacita e envolve numa investigação aprofundada, com vista à resolução de um dado problema sobre fenómenos complexos da vida real, aplicando conhecimentos e desenvolvendo competências durante este processo, no qual também ocorre a reorganização sucessiva entre a teoria e a prática (Lambros, 2004; Pepper, 2009; Santos, Salgado, Barreto, Martins & Dores, 2010; Savery, 2006; Vasconcelos & Almeida, 2012). Contudo, Boud e Feletti (1997) apontam diversos equívocos na aplicação da metodologia ABRP, como por exemplo: confundir a ABRP com a mera resolução de problemas (*problem solving*); adotar a ABRP sem o acordo dos seus intervenientes; tolerar lacunas na investigação

e desenvolvimento da natureza e tipo de problemas a serem utilizados; investir de modo insuficiente no *design*, preparação e renovação contínua dos recursos de aprendizagem; aplicar métodos e estratégias de avaliação incongruentes com o processo de aprendizagem implementado.

Apesar das variações existentes em termos de ABRP, diversos autores atribuem-lhe as seguintes características:

(i) a aprendizagem é centrada no aluno (Barrows, 1996);
(ii) a aprendizagem ocorre em pequenos grupos de estudantes (Barrows, 1996; Dahlgren, Castensson & Dahlgren, 1998; Lambros, 2004), variando de quatro a seis elementos (Lambros, 2004) ou entre cinco e nove alunos (Barrows, 1996), que deverão ser equilibrados em termos de características como o talento académico ou de personalidade (Lambros, 2004);
(iii) os professores são facilitadores ou tutores (Barrows, 1996);
(iv) os problemas são o foco de organização e de estímulo para o aluno e são apresentados em primeiro lugar (Albanese & Mitchell, 1993; Barrows, 1996);
(v) os problemas são um veículo para a aquisição de competências de resolução de problemas (Barrows, 1996);
(vi) ativação e elaboração do conhecimento prévio através da análise em pequeno grupo (Schmidt, 1993);
(vii) nova informação é adquirida através da aprendizagem autorreguladora (Barrows, 1996; Dahlgren et al.,1998);
(viii) construção de redes semânticas de problemas orientados (Schmidt, 1993);
(ix) promoção da curiosidade epistémica (Schmidt,1993).

Margetson (1997) considera que existem três características importantes da ABRP que representam um desafio significativo relativamente a algumas crenças ortodoxas na educação: promove a aprendizagem "*open-minded"*, reflexiva, crítica e ativa; o professor e o aluno são detentores de conhecimentos e interesses que partilham num processo educacional e reflete a natureza do conhecimento, ou seja, este é complexo e modifica-se como resultado de respostas das pessoas a problemas que fazem parte do seu mundo.

Oguz-Unver e Arabacioglu (2014) sistematizaram as diferenças entre a AOI (Aprendizagem Orientada para a Investigação, do inglês *Inquiry-Based Learning,* IBL), a ABRP e a ABRPj (Aprendizagem Baseada na Resolução de Projetos, do inglês *Project Based Learning,* PjBL), de acordo com a tabela 1.1:

Tabela 1.1 - Comparação entre AOI, ABRP e ABRPj.

		AOI (IBL)	ABRP (PBL)	ABPj (PjBL)
História	Objetivo filosófico	Levantamento de questões.	Resolução de problemas.	Realizar um produto tangível.
	Pioneiros	John Dewey, Robert Karplus, Atkin, Lawson, Joseph Schwab, Marshall Herron	John Dewey, Barrows, Savery & Duffy, Williams, Stepien & Gallagher	John Dewey, Kilpatrick, Bruner, Thelen, Rufus, Stimson, Blumenfeld, Tinker, Laffey, Krajcik, Moje
	Elementos chave	Espelhar a investigação dos cientistas.	Resolução de problemas e elaboração de novo conhecimento.	Aprender através da produção de um artefacto, criar um artefacto durante um quadro temporal extenso.
Princípios	Princípio	Desenvolver capacidades investigativas e aprender processos científicos.	Maximizar a aprendizagem através da investigação, explicação e resolução, começando com problemas reais e significativos	Trabalhar em problemas autênticos ou reais para produzir produtos tangíveis durante um período extenso de tempo
	Propósito	Melhor abordagem de aprendizagem, espelhando o trabalho dos cientistas.	Melhores resultados e aprendizagem para a solução de problemas.	Ótimo exemplo da vida real na educação através da criação de uma produção autêntica.
	Capacidades/ conhecimentos prévios	O aluno pode produzir conhecimento recorrendo a capacidades investigativas.	Capacidade de resolução de problemas com aprendizagem de novo conhecimento.	Aplicação de conhecimento e competências prévias, finalização num período extenso de tempo, auto-gestão e gestão de projeto
Implicações instrucionais	Papel do professor	Mediador, facilitador.	Tutor, facilitador no processo de mediação.	Facilitador, mediador.
	Papel do aluno	Interpreta, explica, coloca hipóteses, desenha e realiza as próprias atividades investigativas.	Determina se um problema existe, criando um enunciado exato do problema, identificando factos e desenhando um plano de trabalho.	Gestão de um plano de trabalho e horário de trabalho, elaborando um produto final tangível.
	Áreas aplicáveis	Para qualquer área, mas especialmente para o ensino das ciências.	Para qualquer área, mas especialmente na Medicina.	Para qualquer área, mas especialmente Arquitetura, Engenharia (que têm por objetivo a criação de artefactos).
	Níveis aplicáveis	Para qualquer nível, com adaptações à faixa etária correspondente.	Para qualquer nível, com adaptações à faixa etária correspondente.	Para qualquer nível, com adaptações à faixa etária correspondente.

(Oguz-Unver & Arabacioglu, 2014, p. 125, com adaptações e interpretações da autora).

Seguindo a conceção de Dahlgren e colaboradores (1998), quanto ao papel do professor na educação, podem ser delineadas duas perspetivas básicas: a orientada para a transmissão, centrada na ação do professor e no sumário, representando uma perspetiva tradicional do papel do professor, e a orientada para a interação, que privilegia os diferentes modos de raciocinar dos estudantes. Para Vasconcelos e Almeida (2012), nas aulas tradicionais, os materiais uniformes que são facultados aos alunos têm como enfoque sobretudo o conteúdo programático e não propriamente o processo de aprendizagem, refletindo-se esta escolha posteriormente no tipo de avaliação que recorre maioritariamente à replicação desses mesmos conteúdos.

Ronis (2008) põe em evidência que sendo a metodologia ABRP centrada nos alunos em vez do professor, baseada em problemas em vez de soluções, difere das mais tradicionais formas de instrução. De acordo com Leite e Esteves (2005), após o aparecimento da ABRP, o ensino modificou-se e a posição do professor na sala de aula teve também de sofrer alterações no sentido de propiciar aos estudantes uma maior autonomia na condução das aprendizagens. O professor passou a encarar a função de "tutor" ou "mediador da aprendizagem", promovendo o questionamento e a busca da solução, em vez de a fornecer de forma imediata. Ronis (2008) chega mesmo a apelidar o professor de "facilitador" (*facilitator*) ou "mediador" (*coach*), remetendo o seu papel para o de colocar questões que orientem e construam os conhecimentos dos alunos. A este respeito, note-se que Chin e Chia (2005) utilizam a designação de "mediador metacognitivo" (*metacognitive coach*) em vez de líder. Assim, os professores não estão sempre no controlo absoluto da aprendizagem, uma vez que os estudantes assumem a responsabilidade perante a sua própria aquisição de conhecimentos. Ou seja, o papel do facilitador é o de facultar o mínimo de informação sem, contudo, deixar de providenciar o suporte cognitivo, social e moral e os recursos necessários para guiar o processo de trabalho dos alunos. Por seu turno, estes deverão tornar-se mais ativos na discussão e tomarem a iniciativa de identificar assuntos a serem explorados (Chin & Chia, 2005; McConnell et al., 2017). Neste sentido, tal como Vasconcelos e Almeida (2012) defendem, parte-se do pressuposto epistemológico que o aluno não é uma página em branco ou, como relembra Schmidt (1993), uma "*tabulae rasae*", podendo construir novos conhecimentos alicerçados nos que já possui. Quanto ao professor, segundo Felder e Brent (2004b), o seu papel deixa claramente de ser o sábio no palco (*sage on the stage*), para ser o guia do lado (*guide on the side*).

Tal como noutros casos de ensino orientado para a investigação, a ABRP faculta aos estudantes o poder de ter um papel responsável na sua aprendizagem (Allen & Tanner, 2003), aumentando-se a sua motivação e a sua responsabilidade, no sentido de se realizarem como aprendizes para toda a vida (Pereira, 2007). Este método de aprendizagem que se enquadra facilmente numa metodologia "*inquiry*" permite aos estudantes processar e adquirir nova informação do modo mais adequado aos seus processos cerebrais naturais (Ronis, 2008).

Na abordagem tradicional, dedutiva e orientada pelo professor, este coloca o teorema, postulado ou regra para a turma e depois dá exemplos que reforcem a sua compreensão (aprendizagem passiva). Numa metodologia baseada em problemas, o professor dá aos alunos a informação e pede-lhes para formularem questões que devem ser respondidas de modo a avançar em direção a uma (ou mais do que uma) solução. Parte-se de uma situação específica em direção a algo mais geral e abrangente, segundo as regras da lógica, o que se coaduna com a aprendizagem indutiva (Felder & Brent, 2004b; Ronis, 2008). Estes dois papéis, atendendo a McConnell e colaboradores (2017) implicam prática, em termos de implementação, obrigando os estudantes a abandonar o caminho mais confortável, correndo riscos ao defenderem as suas ideias.

O aluno deixa de ser mero espectador e encarna um ator com papel ativo em todo o processo, que tem lugar no seio do seu grupo de trabalho, estabelecendo conexões complexas com todos os outros intervenientes; o professor gere a comunicação interpessoal entre os alunos e deixa de ser apenas a fonte transmissora de informação (Figuras 1.3A e 1.3B).

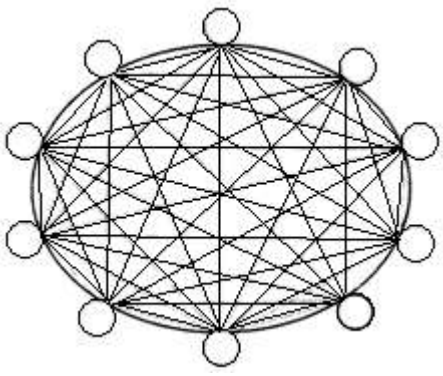


Figura 1.3A - *Links* de comunicação interpessoal possíveis para nove estudantes e um tutor. Estas interações complexas deverão ser geridas e facilitadas (extraído de Sefton, 2005, p. 143).

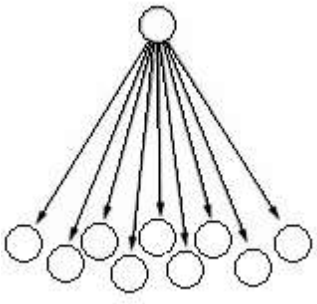


Figura 1.3B - Sessão didática típica com comunicação em apenas um sentido/"*one-way*" (extraído de Sefton, 2005, p. 143).

Uma meta-análise realizada por Johnson, Johnson e Stanne (2000), envolvendo cento e sessenta e quatro estudos, avaliou o impacte de oito tipos de estratégias de aprendizagem cooperativas relativamente a alunos submetidos a metodologias de ensino individualistas (por exemplo, com recurso a palestras). Este trabalho de investigação demonstrou que o primeiro método de ensino atrás referido apresentou globalmente uma maior eficácia, apesar das variações existentes entre as diferentes técnicas de aprendizagem colaborativa.

Um currículo onde a ABRP é central para a aprendizagem será sócio-construtivista por natureza, porque os estudantes tomam decisões, numa ampla extensão, sobre o que conta como conhecimento e saber (Chin & Chia, 2005; Savin-Baden, 2004) e assenta nos seguintes princípios (Hung et al., 2008):

(i) o conhecimento é construído de modo individual e socialmente coconstruído a partir de interações com o ambiente;
(ii) existem necessariamente perspetivas múltiplas relacionadas com todos os fenómenos;
(iii) o significado e o pensamento estão disseminados entre a cultura e a comunidade da qual fazemos parte e nos instrumentos que utilizamos;
(iv) o conhecimento está ancorado e indexado a contextos relevantes.

Mais concretamente, as ideias de Vygotsky forneceram o suporte para aquilo que se entende como a dimensão colaborativa da ABRP e a premissa de que a aprendizagem pode ser coconstruída através da resolução de problemas (Harland, 2003). Aprender é, assim, uma atividade social e colaborativa (Vasconcelos, 2010a), na qual o desenvolvimento dos processos superiores é primeiramente intersubjetivo e só depois intrassubjetivo (Luzzi, 2003). Numa perspetiva sócio-construtivista da aprendizagem, o aluno é coconstrutor e, implicitamente, autorregulador e ainda explorador e produtor da sua aprendizagem (Guerra & Vasconcelos, 2009; Vasconcelos, 2008). O tutor atua como um facilitador da aprendizagem, promovendo a aceleração cognitiva da zona de desenvolvimento proximal – ZDP (Vasconcelos, 2010b) e os estudantes são estimulados a aprender interagindo uns com os outros quando discutem os problemas em pequenos grupos. Por exemplo, explicam conceitos e fenómenos, colocam questões uns aos outros e discutem o problema em questão (Dolmans & Schmidt, 2010). Este conjunto de atividades pode traduzir-se no alargamento do conhecimento nuclear (*core knowledge*) levando ao desenvolvimento de outra ZDP (Pereira, 2007). Todavia, este processo faculta aos estudantes as ferramentas para aprenderem a tornar-se mais eficazes e resolvedores autónomos de

problemas e ainda desenvolverem a capacidade de trabalharem colaborativamente (Ronis, 2008).

Num currículo através da ABRP, os alunos resolvem problemas da vida real (Harland, 2003; Pepper, 2009), sendo este o ponto de partida para o processo de aprendizagem (Dahlgren & Öberg, 2001). Para sublinhar a natureza real do problema, é atribuído aos alunos um papel específico no cenário que lhes é descrito, o que enfatiza a sua responsabilidade de o solucionarem, como explicita Lambros (2004). Majoor e Aarts (2010) sugerem que os alunos sejam confrontados com problemas do seu próprio país, região, cidade ou comunidade, para que toda a informação por eles adquirida possa ser utilizada na sua resolução. Ronis (2008), na mesma linha de pensamento, defende que através do uso de problemas relevantes para a vida dos alunos e baseados no mundo real, os estudantes serão capazes de estabelecer ligações entre a nova informação e o conhecimento previamente adquirido.

No que diz respeito ao processo de aprendizagem segundo a metodologia ABRP, este segue uma sequência de etapas interrelacionadas (Dahlgren & Öberg, 2001), durante as quais os alunos identificam assuntos ou temas de aprendizagem pertinentes, fazem questões relacionadas com estes assuntos e tomam as suas próprias decisões sobre as vias de investigação a realizar e o modo como hão de coligir e analisar esta informação (Chin & Chia, 2005). As autoras Leite e Afonso (2001), cujos estudos sobre esta temática foram pioneiros em Portugal, no domínio da formação de professores, sustentam a existência de quatro fases, designadamente:

- *seleção do contexto*, no qual o professor, socorrendo-se de materiais em diferentes formatos (por exemplo, artigos de jornais), que sejam adequados, desafiantes e motivadores para o alunos, identifica os problemas que pretende que venham a ser tratados ou que permitam abordar conceitos relevantes nesse domínio;

- *formulação dos problemas*, fase em que o aluno tem o papel de destaque, explicitando as questões ou problemas surgidos durante o processo, cabendo ao professor a função de orientador, destrinçando as questões irrelevantes ou eventuais repetições, discutindo com os alunos qual a melhor opção em termos sequenciais e de relevância para o tratamento dos problemas levantados pelos discentes;

- *resolução do(s) problema(s)*, etapa ao longo da qual é suposto os alunos recorrerem a fontes de informação diversificadas, para reinterpretarem o(s) problema(s), planificar e implementar estratégias de resolução, e realizarem atividades, por vezes cíclicas, necessárias ao solucionamento do(s) problema(s);

- *síntese e avaliação do processo*, em que os todos os intervenientes verificam se a(s) solução(ões) encontrada(s) é(são) adequada(s) ou se não há solução para o problema enunciado, procedendo-se a uma síntese final dos conhecimentos e avaliação de competências a vários níveis.

Apesar da grande diversidade de possibilidades do percurso dos alunos ao longo da resolução de problemas, é possível representar o processo da ABRP de modo esquemático, atendendo à síntese elaborada por Vasconcelos e Almeida (2012) e às etapas descritas previamente segundo Leite e Afonso (2001), conforme ilustrado na figura 1.4.

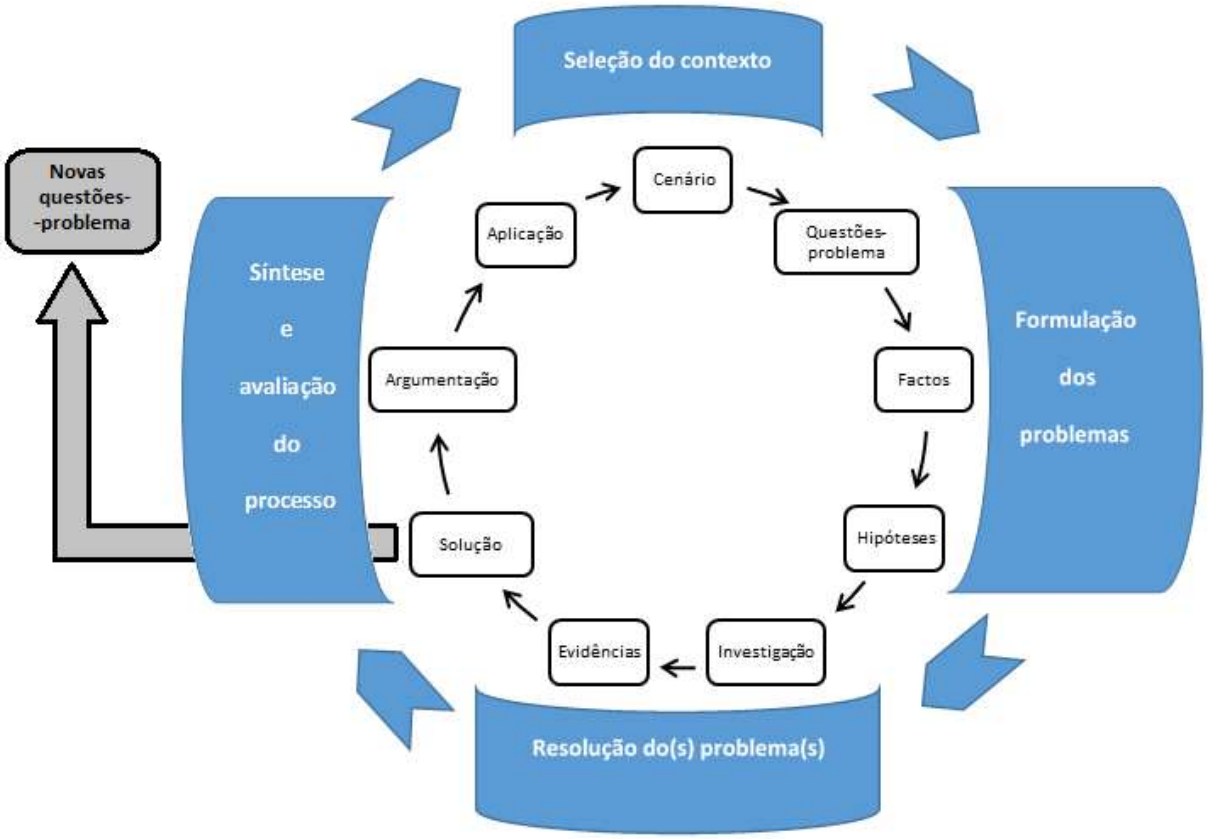


Figura 1.4 – O processo cíclico da ABRP (adaptado de Vasconcelos & Almeida, 2012, p. 22 e Leite & Afonso, 2001, p. 260)

O maior desafio da ABRP não é apenas encontrar a resposta certa, até porque podem existir várias respostas corretas, é acima de tudo o desenvolvimento de competências cognitivas, atitudinais, procedimentais e de comunicação, à medida que

se resolve um problema real e não abstrato, integrando conhecimentos prévios e recém-construídos (Lambros, 2004; Guerra & Vasconcelos, 2009).

Num contexto de ensino tradicional, a avaliação consiste, tipicamente, na verificação dos conhecimentos que o aluno consegue recordar e raramente informa o professor acerca do que o aluno poderá vir a fazer com esse conhecimento (Leite & Esteves, 2006). A metodologia ABRP permite a mobilização de saberes e promove a aprendizagem ao longo da vida. Sendo utilizada em muitas áreas do saber, representa a maior e mais generalizada mudança no panorama e prática docente no ensino e investigação educacional, bem como na educação em ciência (Guerra & Vasconcelos, 2009).

Relativamente às desvantagens da ABRP, de uma perspetiva docente podem ser resumidas da seguinte forma: as competências dos professores não são totalmente exploradas e existem dificuldades em controlar o conhecimento factual dos alunos (Dahlgren et al., 1998). De acordo com Santos e colaboradores (2010), o contacto inicial com a ABRP pode traduzir-se nalguma resistência tanto da parte dos professores (por alteração do seu estatuto de única fonte de sapiência) como por parte dos alunos (devido ao desconforto causado pela rotura com um padrão previamente estabelecido).

Existem diversos estudos que apontam a ABRP como uma metodologia com várias vantagens, nomeadamente: satisfação dos estudantes quanto à ABRP (Gordon, Rogers, Comfort, Gavula & McGee, 2001; Johnson, Herd, Andrewartha, Jones & Malcolm, 2002); capacidade de integrar nova informação no conhecimento prévio (Capon & Kuhn, 2004); retenção do conhecimento por tempo mais prolongado comparativamente à metodologia tradicional (Dochy, Segers, Van den Bossche & Gijbels, 2003) e maior promoção da interação entre pares (Hays & Vincent, 2004).

No respeitante aos estudantes do ensino tradicional e, tendo em consideração os estudos realizados por Shwartz, Mennin e Webb (2006), os estudantes submetidos à ABRP são mais capazes de: estudarem com o objetivo de compreenderem durante um longo período de tempo, em vez de trabalharem apenas para reter informação na memória a curto prazo; evidenciarem mais motivação para a aprendizagem; serem mais positivos acerca da sua perceção sobre educação e utilizarem mais recursos durante a sua própria aprendizagem. Num estudo realizado por Pepper (2009) durante três anos, muitos estudantes gostaram de trabalhar em grupo, partilhar ideias e de executar as tarefas. No entanto, apontaram como aspeto mais negativo da ABRP o

facto de serem autodirecionados, ou seja, de gerirem o seu próprio processo de aprendizagem. Uma conclusão consistente é que os estudantes, apesar de considerarem a transição inicial para a ABRP muito difícil (Hung, Bailey & Jonassen, 2003) estão muito satisfeitos com a abordagem através deste tipo de metodologia; os professores, por seu turno, vêm na ABRP um modo satisfatório de ensinar. Apesar de existirem evidências que apontam para um impacte positivo na memória a longo prazo, após discussão em pequenos grupos, não existem evidências que demonstrem que a ABRP leve a resultados melhores, em termos de desempenho académico (Dolmans & Schmidt, 2010), mas há vários estudos que indicam que produz melhores profissionais (Pereira, 2007).

Numa metanálise levada a efeito por Albanese e Mittchell (1993), para investigar os efeitos gerais da ABRP em estudantes de Medicina, os autores verificaram que, quando comparada com a metodologia tradicional ou transmissiva, a ABRP era considerada mais agradável. Outros benefícios estavam relacionados com o facto de os graduados terem igual e, por vezes, melhor desempenho na prática clínica e nas avaliações finais da faculdade. Contudo, e apesar de ser uma metodologia bem aceite na faculdade, os estudantes com currículo ABRP por vezes obtinham piores resultados em exames básicos de ciências do que os seus colegas em contexto tradicional.

Hmelo-Silver (2004) através de uma revisão da literatura sobre ABRP, defende que a investigação tem apoiado as seguintes metas: conhecimento flexível, competências efetivas de resolução de problemas e competências de aprendizagem autónoma. Porém, segundo a mesma autora, as competências efetivas de colaboração e a motivação intrínseca não teriam sido ainda comprovadas inteiramente, devido aos poucos estudos em contextos como no ensino superior e ensino básico, recorrendo a publicações entre 1993 e 2002. Neste âmbito, talvez seja relevante apontar o trabalho de Pedersen (2003), que levou a efeito um estudo com sessenta e seis estudantes do sexto ano, sobre os níveis de motivação intrínseca, quando se aplica a ABRP comparativamente a um contexto tradicional de aprendizagem, durante treze aulas de quarenta e cinco minutos. A investigadora utilizou uma metodologia mista, tendo sido aplicada antes e após a experiência educativa, a Escala de motivação intrínseca e extrínseca de Harter, de 1981. Realizou entrevistas para apreender a opinião dos estudantes sobre o contexto de aprendizagem em ABRP e colheu as possíveis razões que estivessem na origem de uma suposta maior motivação. Os resultados demonstraram diferenças

estatisticamente significativas, evidenciando que os estudantes estavam mais motivados durante a atividade com recurso à ABRP do que utilizando uma atividade de sala de aula tradicional.

Loyens, Jones, Mikkers e van Gog (2015) levaram a efeito um estudo sobre a influência da ABRP na mudança conceptual, no âmbito do tema sobre leis de Newton, tendo concluído que a metodologia em causa pode aumentar a possibilidade de mudança conceptual, comparativamente a grupos que foram submetidos a metodologias ditas tradicionais.

Numa metanálise elaborada por Demirel e Dağyar (2016), que implicou o escrutínio de quarenta e sete estudos, publicados entre 2007 e 2015, com *design* experimental, tinha como objetivo determinar o efeito da ABRP nas atitudes dos estudantes comparativamente aos que tinham sido submetidos a metodologia tradicional (definida como baseada em palestras ou orientada pelo professor, durante as quais os alunos apenas tiram apontamentos). A análise estatística permitiu considerar que a ABRP tem consequências positivas, ainda que ligeiras, nas atitudes demonstradas pelos estudantes face ao curso que frequentam, relativamente à abordagem tradicional e que variáveis como a área científica, o nível de escolaridade, o tamanho da amostra e o tempo de duração, não são significativos nas diferenças encontradas.

Segundo Ferreira e Henriques-Coelho (2016), a ABRP conduz a um impacte positivo no desenvolvimento da reflexão e metacognição dos alunos, bem como um elevado nível de satisfação com a metodologia aplicada em aula.

Na perspetiva de Felder e Brent (2004b), se os benefícios da ABRP estão demonstrados em centenas de estudos, a receção entusiástica não pode ser esperada por parte de todos os estudantes, pois muitos entendem que o professor deve supostamente indicar-lhes a resposta certa, sob pena de colocarem a sua competência em causa.

1.2. Cenários e tipos de problemas

A ABRP pode ser considerada uma metodologia de ensino baseada no princípio do uso de problemas ou de cenários da vida real como ponto de partida para a construção de conhecimento (Dahlgren & Öberg, 2001; Lambros, 2004) e que se

contrapõe à educação tradicional, criticada frequentemente por falhar em preparar os alunos para lidarem com o mundo real (Jayawardana & O'Donnell, 2007). Os problemas são a força orientadora por detrás da aprendizagem dos alunos na ABRP, desafiando-os para uma aprendizagem ativa e estimulando-os para construir novo conhecimento firmemente ligado com o conhecimento existente (Dolmans & Schmidt, 2010), tornando-se esta atividade significativa e auto-motivadora (Moutinho et al., 2015). Aliás, como educadores, passamos tipicamente muito tempo a dizer aos nossos alunos o que precisam de saber sem primeiro determinarmos o que eles já sabem e o que acham que precisam de saber (Lambros, 2004). Também para os investigadores Felder e Brent (2004b), estabelecer a ligação entre relevância prática do que é dado nas aulas com o conhecimento que os estudantes já têm sobre as matérias, legitima este conhecimento como alicerce para um novo edifício do saber em que as conceções alternativas serão renunciadas.

Schmidt e Moust (2010), com base numa análise de natureza epistemológica, defendem quatro tipos distintos de conhecimento acerca do mundo que nos rodeia: conhecimento explicativo, conhecimento descritivo, conhecimento procedimental e conhecimento normativo pessoal ou pessoal subjetivo (Figura 1.5).

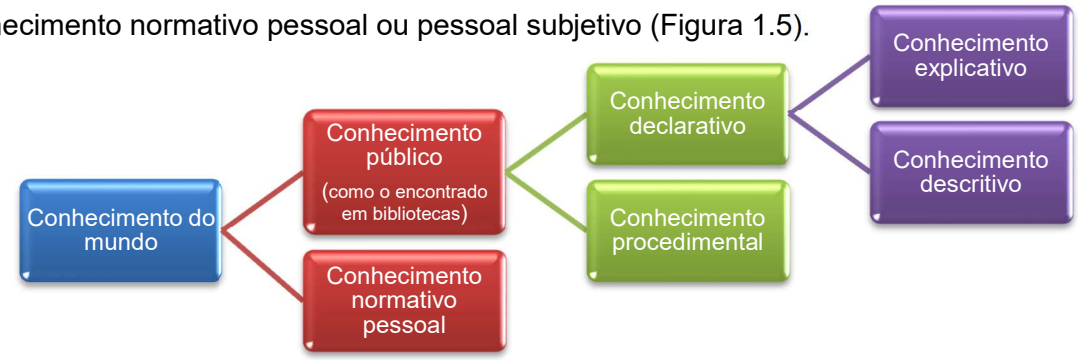


Figura 1.5 - Tipos de conhecimento do mundo (adaptado de Schmidt & Moust, 2010, p. 34).

Estas distintas formas de conhecimento irão refletir-se, respetivamente, em quatro tipos de problemas na ABRP: problemas explicativos, problemas de procura de factos, problemas estratégicos e problemas de resolução de dilemas morais (Tabela 1.2).

Segundo Schmidt e Moust (2010), todos estes tipos de problemas, ou uma combinação entre eles, podem ser implementados numa metodologia como a ABRP, seguindo uma ordem crescente de mobilização de raciocínio (aplicando em primeiro lugar problemas de procura de factos ou explicativos, avançando depois para os problemas de estratégia ou de dilemas morais) ou sem qualquer ordem específica. Contudo, de acordo com os mesmos autores, à medida que o tempo passa, é

recomendável apresentar-se uma combinação entre géneros de problemas (por exemplo, um problema de estratégia integrado num problema moral), culminado na análise de problemas aos quais faltem determinadas informações ou que contenham falsas informações, de modo a aumentar a sua complexidade, tal como acontece na vida real.

Tabela 1.2 – Taxonomia dos problemas, relativamente aos tipos de conhecimento (casos aplicados ao ensino médico).

Tipos de conhecimento	Conhecimento explicativo	Conhecimento descritivo	Conhecimento procedimental	Conhecimento normativo pessoal
Tipos de problemas	Problemas explicativos	Problemas de procura de factos	Problemas de estratégia	Problemas que implicam dilemas morais
Exemplos	Explicar o ganho de peso de um paciente tendo em consideração os seus sintomas.	Distinguir as diferentes partes do sistema digestivo, funções e inter-relações.	Como proceder perante alguém que desmaia, após uma colheita de sangue.	Situação em que um médico se veja confrontado com um paciente que necessite de uma transfusão de sangue mas que, por questões religiosas, a mesma não é autorizada pelos progenitores

(Adaptado de Schmidt & Moust, 2010, p.36).

Nos currículos de ciências, como no caso da Física e da Química, os problemas, que frequentemente correspondem apenas a exercícios cuja resolução implica a aplicação de algoritmos simples, são geralmente apresentados pelo professor ou pelo manual escolar, não sendo os alunos incitados a solucionar problemas da sua autoria (Palma & Leite, 2006). Dahlgren e Öberg (2001) relembram que a palavra «problema», na literatura, tem múltiplos significados e, aquele que geralmente se perspetiva no senso comum, acarreta sempre uma conotação negativa. Segundo Tenreiro-Vieira (2004), “por norma, não há um esforço deliberado, por parte do professor, em organizar situações de aprendizagem com o propósito explícito de levar os alunos a manifestarem e usarem capacidades de pensamento crítico” (p. 230). Para além disso, as aprendizagens realizadas por parte dos alunos são frequentemente sectarizadas, memorizadas e “engavetadas”, sem qualquer significado conectivo. No mundo exterior à sala de aula, as disciplinas não ocorrem como

entidades separadas (Ronis, 2008). Aquilo que distingue a ABRP de outras metodologias também centradas em problemas, é que na ABRP o problema é apresentado em primeiro lugar, antes (e não após), de os alunos terem aprendido os conceitos mais básicos (Albanese & Mitchell, 1993). Loyens, Kirschner e Paas (2011) propõem cinco itens para a elaboração de problemas na ABRP, nomeadamente: serem elaborados com base no conhecimento prévio dos alunos; promover discussões; estimular competências "SDL"[2] (*self-direct learning*) ou de "autoaprendizagem" (Trindade, 2014, p.44), desencadear a transferência e integração de conhecimento e serem relevantes em termos profissionais no futuro. Cachinho (2012) defende, igualmente, que os problemas devem captar a atenção dos estudantes, estimular a discussão no seio dos grupos de trabalho e incentivar a colaboração. Para este autor, também a qualidade dos cenários apresentados é um fator decisivo para os processos de ensino aprendizagem, elencando algumas opções possíveis nesta matéria: artigo de uma revista científica, vídeo, fotografia, simulação, entre outros. Neste sentido, os cenários podem ser reais ou fictícios, do quotidiano ou futuro profissional, mas envolvendo dados científicos corretos e situações problemáticas abertas, que se distinguem dos "meros exercícios" (Vasconcelos & Almeida, 2012). Com efeito, atendendo às investigações de Felder e Brent (2004b), a única forma de assegurar que os alunos são confrontados com tarefas dentro da sua ZDP é fornecer uma grande variedade de tarefas com vários níveis de dificuldade, para que haja uma identificação com o seu nível de desenvolvimento.

Segundo Hung (2006), os problemas são cruciais para o sucesso da ABRP e, no modelo por si defendido, designado 3C3R (Figura 1.6), propõe um enquadramento conceptual para elaborar problemas, compreendendo duas classes de componentes: (i) nuclear, que inclui três vertentes – conteúdo (*content*), contexto (*context*) e conexão (*connection*) e de (ii) processamento, que engloba investigar (*researching*), raciocinar (*reasoning*) e refletir (*reflecting*).



Figura 1.6 – Modelo conceptual para a elaboração de problemas na ABRP - modelo 3C3R (adaptado de Hung, 2006, p. 57).

[2] Segundo Schmidt (2000) citado em Loyens, Kirschner e Paas (2011, p.6), competências SDL referem-se à preparação de um estudante "*to engage in learning activities defined by him – or herself, rather than by a teacher*".

Existem alguns parâmetros que podem ser tidos em consideração aquando da elaboração de um problema: estar adaptado ao conhecimento prévio dos alunos; conter várias pistas que estimulem os alunos; ser relevante para a sua futura profissão; promover a aprendizagem autorregulada de modo a estimular a pesquisa de literatura e aumentar o interesse dos alunos no conteúdo programático, sustentando discussões sobre possíveis resoluções e alternativas (Dolmans, Snellen-Balendong, Wolfhagen & Vleuten, 1997). No seguimento desta temática, McConnell e colaboradores (2017) atestam que nem toda a informação necessária para resolver o problema deva ser apresentada ao aluno e até alguma da informação disponibilizada pode não ser necessária à sua resolução. Chin e Chia (2005) acrescentam que, para além de os problemas não conterem toda a informação necessária para serem resolvidos, não existe apenas uma forma correta de solucionar o problema. King e Kitchener (1994) convergem com esta linha de pensamento ao defenderem que a resolução destes problemas vai para além da aplicação de um mero algoritmo. Estes são os designados problemas mal-estruturados (*ill-structured problems*), que Kurfiss (1997) caracteriza por terem normalmente várias soluções e estarem bastante associados ao pensamento crítico, contrariamente aos bem-estruturados (*well-structured problems*) que, não sendo triviais, enquadram-se geralmente no campo da física ou da matemática (Tabela 1.3).

Tabela 1.3 – Comparação entre problemas bem e mal-estruturados.

	Problemas bem-estruturados	Problemas mal-estruturados
Definição	Pode ser descrito com um elevado grau de perfeição. Pode ser resolvido com um elevado grau de certeza. Os peritos geralmente concordam quanto à solução correta.	Não pode ser descrito com um elevado grau de perfeição. Não pode ser resolvido com um elevado grau de certeza. Os peritos não concordam frequentemente quanto à solução correta, mesmo quando o problema possa ser considerado resolvido.
Exemplos	Resolver uma equação algébrica em ordem a x.	Resolver a questão dos resíduos nucleares.
Objetivo educacional	Aprender a raciocinar para alcançar soluções corretas.	Aprender a construir e defender soluções razoáveis.

(Adaptado de King & Kitchener, 1994, p. 11).

Chin e Chia (2005) apontam os manuais escolares e os professores como as possíveis fontes geradoras dos problemas bem-estruturados. Pascarella e Terenzini (2005), recorrendo aos estudos realizados por King e Kitchener da década de noventa,

afirmam que nos problemas mal-estruturados aplicando as regras formais da lógica, algoritmos ou fórmulas matemáticas, estes não podem ser resolvidos, posição que também é corroborada por Ronis (2008). Bastos (1998) salienta que, embora as competências cognitivas envolvidas na resolução de problemas bem-estruturados sejam um aspeto relevante dos recursos intelectuais de um indivíduo, nem sempre são competências desse tipo as mais adequadas para lidar com os problemas do mundo adulto como a poluição, ou outros problemas similares. Assim sendo, Savery (2006) afirma que o sucesso da metodologia ABRP passa pela seleção de problemas mal--estruturados. Quando aprendem a partir de problemas mal-estruturados, os estudantes envolvem-se em processos dialéticos, reconhecendo as perspetivas divergentes e as múltiplas representações do problema. Por exemplo, no que concerne ao problema de "como resolver a questão dos resíduos nucleares" (tabela 1.3), haverá discordância quanto à existência de apenas uma solução, ou até de qual a "melhor" solução. Compreenderão assim a significância e relevância do que aprendem, facilitadas pela transferência através da contextualização do conhecimento em situações autênticas (Chin & Chia, 2005). Investigar a informação que falta, ajuda os alunos a entender o que está a ocorrer e também os ajuda a decidir que tipo de ação é requerida para a sua resolução (Ronis, 2008). Convém sublinhar que, para Pavelich e Moore (1996), um objetivo primordial do ensino superior é ajudar na formação de estudantes responsáveis e habilitados na resolução de problemas abertos, que apelam ao desenvolvimento de uma série de competências a vários níveis. Cremos, tal como Chin e Chia (2005), que desta forma os estudantes serão capazes de estabelecer de modo autónomo a interligação entre os planos académico, pessoal e social. Se atendermos à perspetiva de Leff (2003) "a maioria dos problemas ambientais caracteriza-se por um estado fluido e incompleto de conhecimento científico, acompanhado por imprevisibilidade inerentes aos sistemas complexos" (p. 81). Esta abordagem permite encarar a GA como um campo científico onde predominam os problemas mal-estruturados, que apelam a uma visão integradora da realidade e lidam com questões complexas, abrangentes, de caráter pluridisciplinar e, geralmente, sem uma solução única ou definitiva. Parafraseando Carvalho (2003) "a aprendizagem ambiental deve sustentar-se em um saber sobre a construção de possibilidades, a partir de *meias certezas*, sem recorrer a textos totalmente fechados" (p.128). Assim, em nosso entender, a metodologia ABRP pode ser aplicada a problemas reais ou hipotéticos que envolvem incertezas no âmbito da GA, contribuindo para a melhoria das competências complexas exigidas a nível do ensino superior.

1.3. O que diz a investigação sobre a Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas

A aplicação da metodologia ABRP tem vindo a demonstrar o seu sucesso em vários níveis de ensino e numa grande diversidade de países (Gijbels, Dochy, Van den Bossche & Segers, 2005; Vasconcelos & Almeida, 2012), desde a educação pré-escolar até ao ensino superior (Barrows, 1996), apesar de ter sido originalmente concebida para jovens do ensino superior (Delisle, 1997). A ABRP tem-se disseminado pela América do Norte, Austrália e Europa (Savery, 2006) incluindo países como a Suíça, na Faculdade de Medicina da Universidade de Berna (Yürüker, 2007), a Suécia, na Universidade de Linköping (Wiggins et al., 2016), a Dinamarca, na Universidade de Aalborg (Guerra & Kolmos, 2011), o Reino Unido, na Escola de Geografia – Universidade de Manchester (Perkins, Evans, Gavin, Johns & Moore, 2001) ou expandindo-se mesmo até ao sudoeste da Ásia, como na Faculdade de Farmácia no Dubai (Ali et al., 2017).

Relativamente à área da Educação no nosso país, a investigação sobre ABRP data apenas do início deste século XXI, e foca-se sobretudo no terceiro ciclo do ensino básico. Inicialmente, os estudos de Gandra (2001) apontaram para o efeito positivo da metodologia ABRP em alunos de nono ano, na área dos “Transportes e Segurança”. Leite e Afonso (2001), levaram a efeito uma investigação relativa à caracterização e formas de implementação da ABRP na disciplina de Ciências Físico-Químicas, no terceiro ciclo do ensino básico, apresentando o exemplo de um instrumento de supervisão que permite monitorizar a sua organização e execução.

Palma e Leite (2006) compararam as questões elaboradas individualmente e em grupo, por setenta e um alunos de quatro turmas do oitavo ano de escolaridade, em Ciências Físico-Químicas, no âmbito do tema “Mudança Global”, tendo verificado dificuldades sobretudo na elaboração de perguntas conducentes a aprendizagens de alto nível, tal como preconizado no processo de ABRP.

Vieira (2007) realizou um estudo quasi-experimental, com duas turmas de alunos do oitavo ano de escolaridade, aplicando a metodologia ABRP, uma das

turmas foi sujeita a um *WebQuest* longo e outra a um *WebQuest* curto, na temática "Fontes de Energia". O primeiro grupo de alunos, atrás referenciado, apresentou uma evolução mais acentuada a nível conceptual e a nível de competências na resolução de problemas, quando comparado com o segundo grupo. Guerra (2008), através de um Estudo de Avaliação Formativa, desenvolveu planificações e materiais de acordo com a metodologia ABRP, sobre a temática "Gestão Sustentável dos Recursos", para alunos de terceiro ciclo, tendo concluído que os alunos demonstraram empatia e desenvolveram competências durante todo o processo. Loureiro (2008) analisou a formulação de questões a partir de contextos problemáticos, no âmbito da ABRP, na área de Físico-Química. Numa investigação empírica de cariz quantitativo, apurou que os estudantes formulam sobretudo questões enciclopédicas e de compreensão, revelando dificuldades na formulação de questões relacionais, de avaliação e de procura de solução. Carvalho (2009) efetuou um estudo quasi-experimental, com quarenta alunos de duas turmas do nono ano, fazendo a comparação dos resultados de aprendizagem obtidos após lecionar o tema referente aos efeitos do álcool no sistema digestivo. Para o efeito, recorreu a duas metodologias de ensino diferenciadas: expositiva e ABRP. Os resultados obtidos mostraram que a aquisição de conhecimentos conceptuais pela turma experimental foi apenas ligeiramente superior ao da turma de controlo, mas o nível de desenvolvimento de competências e de resolução de problemas foi superior. Vasconcelos (2010a) realizou um estudo, no qual incorporou métodos qualitativos e quantitativos, sobre o desenvolvimento de competências numa amostra de vinte e quatro alunos do terceiro ciclo do ensino básico, através de um programa de intervenção com a metodologia ABRP, no âmbito da Educação Ambiental e de acordo com o currículo nacional de Ciências Naturais. Neste caso específico, o problema real estava relacionado com o futuro das minas de ouro em Castromil, tendo-se verificado resultados positivos na aprendizagem dos alunos. Batista (2010), num estudo de caso inserido num paradigma predominantemente qualitativo com a contribuição de aspetos quantitativos, desenvolveu uma investigação com alunos de décimo primeiro ano de escolaridade, conceptualizando e implementando materiais curriculares, numa perspetiva de ensino orientada para a ABRP, na área da Física e da Química, tendo obtido resultados que realçam as vantagens da ABRP. Por sua vez, Leibovitz (2013), no âmbito do tema "Dinâmica da Terra", inserido no programa de sétimo ano de escolaridade, fez estudos que compararam os efeitos da aprendizagem desse tema através de Ensino Orientado para a ABRP (EOABRP) *online*, em alunos com desempenhos académicos e comportamentais diferentes. Em resultado, a turma com melhor desempenho

académico e comportamental evidenciou ter desenvolvido mais conhecimentos concetuais e manifestou uma opinião mais favorável face ao EOABRP *online*. Dias (2014) optou por fazer um estudo sobre as potencialidades da ABRP, no contexto da aprendizagem da ferramenta *Scratch*, dirigida a alunos do oitavo ano de escolaridade, tendo concluído que a metodologia foi perspetivada de forma positiva, com vantagens para a aprendizagem e, sobretudo, para o desenvolvimento da autonomia dos alunos, relativamente às aulas ditas tradicionais. Sousa (2016) aplicou a metodologia ABRP no contexto da temática da Biologia Celular e Ecofisiologia, a alunos de uma escola secundária portuguesa, com média de idades de quinze anos, chegando à conclusão que houve um encorajamento da sua criatividade, assim como uma melhoria do pensamento crítico e questionamento por parte dos alunos envolvidos. Morgado, Leite, Dourado, Fernandes e Silva (2016) conduziram um estudo comparativo entre duas turmas do terceiro ciclo (ensino tradicional *versus* ensino orientado para a ABRP), sobre "Transformação de Matéria e Energia", organizado segundo uma abordagem transdisciplinar, no que respeita à aprendizagem de conhecimento concetuais com diferentes níveis de complexidade. Na análise final, os alunos da turma experimental (EOABRP) obtiveram melhor desempenho do que os alunos da turma de controlo, nas questões que eram cognitivamente mais exigentes. Ferreira e Henriques-Coelho (2016) ao elaborarem um estudo quase experimental com alunos de duas turmas de nono ano de escolaridade (n=36), na área de Geografia, tinham como objetivo verificar o impacte da metodologia ABRP nos resultados dos discentes, em testes de avaliação sumativa e a nível do desenvolvimento de capacidades relacionadas com o pensamento crítico. Deste trabalho, resultou a constatação que nas turmas onde foi ministrada a ABRP, houve um impacte estatisticamente significativo nas questões de resolução de problemas, que implicavam capacidades cognitivas superiores dos alunos, não ocorrendo a mesma consequência nas questões relacionadas com as capacidades básicas desses mesmos alunos.

Deste modo, tal como Vasconcelos e Almeida (2012) sublinham "a ABRP tem a particularidade de ser uma metodologia que pode ser utilizada com qualquer currículo, facilitando a promoção da interdisciplinaridade" (p. 11). Segundo os mesmos autores, esta metodologia tem vindo a ser aplicada no ensino superior, com grande ênfase em áreas de cariz científico. Há que ressalvar o facto de a investigação sobre ABRP ser mínima, fora do domínio da Medicina (Hmelo-Silver, 2004) pois, tal como Neto (2013) afirma, se na Medicina são "vastas e diversificadas as referências na literatura a projetos de formação suportados neste modelo de ensino aprendizagem ou nele influenciados, no domínio da educação em ciências, esse manancial é mais bem

limitado" (p. 29). Charlton-Perez (2013) salienta, inclusivamente, que a implementação da ABRP tem sido diminuta nas áreas relacionadas com as Ciências da Terra ou o Ambiente.

No panorama nacional, no que concerne ao ensino superior, de acordo com Santos e colaboradores (2010), a metodologia ABRP deu os primeiros passos na área da Medicina na Escola de Ciências da Saúde, da Universidade do Minho e na Faculdade de Ciências da Saúde, da Universidade da Beira Interior, em 2001. Mais tarde, em 2008, foi implementada na Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto, em três das licenciaturas aí ministradas.

No que concerne à área de Formação de Professores, Leite e Esteves (2005, 2006), na disciplina de Metodologia do Ensino da Física e Química da Universidade do Minho, nos módulos temáticos "Conceções Alternativas e Mudança Conceptual" e "O laboratório no ensino e na aprendizagem da Física e da Química", debruçaram-se, no primeiro caso, sobre as opiniões dos futuros professores da licenciatura de Físico-Química acerca da ABRP e, no segundo caso, acerca do funcionamento dos grupos de trabalho. Das investigações efetuadas, verificou-se que muitos dos participantes se sentiram mais motivados durante o processo de ensino aprendizagem, no primeiro módulo mencionado. Por outro lado, no segundo módulo em análise, houve registo de algumas discordâncias, em termos de avaliação entre os membros do grupo, sendo que os estudantes reconheceram algumas dificuldades relacionadas com o funcionamento do próprio grupo. Segundo as investigadoras, e no que à formação inicial de professores diz respeito, esta situação poderá ser gradualmente colmatada se for dado "maior enfoque no trabalho de grupo, de modo a permitir aos futuros professores o desenvolvimento de competências de relacionamento interpessoal, relevantes em qualquer indivíduo que, como os professores, têm que coordenar o seu trabalho com o dos seus colegas" (p. 7). Os resultados da investigação de Esteves (2014) também apontam para a necessidade de adotar, no âmbito das disciplinas de Didática das Ciências, no ensino superior, metodologias de ensino coerentes com a forma de ensinar ciências, conforme se deseja fomentar nos futuros professores, como a ABRP.

Pinheiro (2008), num estudo empírico sob a forma de estudo de caso, analisou e interpretou de que modo as alterações promovidas pela metodologia da aprendizagem baseada na resolução de problemas e de projetos, em ambientes simulados, produz implicações ao nível do processo de aprendizagem num ensino

superior profissionalizante, na disciplina de Projeto Profissional, ministrada no Instituto Superior de Contabilidade e Administração da Universidade de Aveiro.

Na disciplina de Geografia do Comércio e Consumo, do curso de Geografia, da Universidade de Lisboa, foi explorada a metodologia em causa considerando três situações-problema e a análise posterior dos diários reflexivos dos estudantes, tendo Cachinho (2012) concluído que deve ser incentivada a criação de situações-problema desafiadoras e motivadoras para os estudantes, que apelem à mobilização de recursos e à criatividade durante o seu processo de resolução.

No que concerne à Didática das Ciências, nomeadamente na formação de professores de Ciências da Universidade de Évora, Neto (2013) cruza os princípios da transdisciplinaridade e da ABRP, concluindo que esta é uma metodologia que se coaduna nesse sentido.

Moutinho e colaboradores (2015) levaram a efeito um estudo qualitativo com dezassete futuros professores de Biologia e Geologia, na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, tendo verificado que estes reconhecem que a ABRP pode facilitar a compreensão por parte dos estudantes do impacte dos aspetos sociais, culturais, da criatividade e da imaginação, na construção do conhecimento científico.

Do que fica atrás exposto, podemos concluir que a quase totalidade dos estudos pesquisados e realizados até hoje no nosso país sobre a ABRP se concentram na área das Ciências Físico-Químicas, maioritariamente no terceiro ciclo do ensino básico, sendo poucos os trabalhos que envolvem conhecimentos na área das Geociências, nomeadamente direcionados para o ensino superior.

A revisão da literatura, no tocante à ABRP aplicada ao domínio das Geociências no ensino superior a nível internacional, revela igualmente que os estudos são escassos nesta área. Markovics (1990), no âmbito da formação de professores de nível secundário em Ciências da Terra, na Austrália, enfatiza o facto de os processos de ensino e de aprendizagem recaírem sobretudo na transmissão de conhecimentos, em detrimento de aspetos que promovam a curiosidade individual, a investigação e o desenvolvimento de mentes inquiridoras que consigam resolver problemas. O autor faz ainda uma série de recomendações no sentido de promover o desafio de um problema como ponto de partida no qual o estudante deva ser envolvido e que satisfaça a sua curiosidade, devendo o professor afastar-se dos métodos *standard* e imergir no domínio da incerteza.

Schmidt e colaboradores (1995) implementaram a metodologia ABRP em aulas do ensino superior na área da Geologia, no ano de 1994, na Universidade La Salle (Filadélfia) em três domínios: Tectónica Global (dez estudantes), Mineralogia e Cristalografia (nove estudantes) e Petrologia Metamórfica (doze estudantes). Do ponto de vista qualitativo, os autores consideraram que a ABRP aumentou a motivação e o interesse dos estudantes nas disciplinas, a sua participação ativa e autonomia, fomentando também a integração interdisciplinar dos conteúdos. Todavia, alguns alunos expuseram a sua frustração imputada à resolução de problemas abertos e a um ambiente de aprendizagem menos estruturado que o habitual.

No que se refere ao contexto asiático (Qiang & Hubble, 2004), os estudantes do terceiro ano da *School of Ocean and Earth Science*, na Universidade Tongji, na China, expressaram a sua insatisfação face aos métodos de ensino tradicionais da disciplina de Geologia do Petróleo (constituída, sobretudo, por palestras protagonizadas pelo professor), classificando como sendo métodos aborrecidos, com demasiados conteúdos e trabalhos atribuídos. Para ultrapassar esta evidência relacionada com o cariz tradicional de transmissão de conhecimentos, os investigadores propuseram a introdução da metodologia ABRP na disciplina, para que os futuros profissionais desenvolvessem capacidades de pensamento crítico e soubessem lidar com problemas reais e complexos na área da Geologia do Petróleo.

Lev (2004) é de opinião que se deva expor os estudantes do ensino superior à vertente aplicada da Geologia, que neste caso se concretizou na disciplina de Geologia Ambiental (*Environmental Geology*) através da aplicação da metodologia ABRP, na Universidade Towson, Estados Unidos da América. A experiência de ensino decorreu durante três semanas, abrangendo seis aulas. Após este período, os participantes (n=21) preencheram um questionário composto por seis perguntas, cujos resultados apontaram para um balanço positivo, à exceção da circunstância de que os resultados esperados do problema não terem sido bem definidos à partida. Lev (2004), tal como outros investigadores atrás citados, considerou que a introdução da ABRP nos currículos da Geologia permitiu o desenvolvimento de competências necessárias para lidar com investigação futura mais complexa. Sugeriu ainda que esta experiência de ensino deve ser maximizada através da análise do *feedback* dos alunos, com consequente reformulação do seu currículo.

Ainda no contexto americano universitário, Montgomery e Donaldson (2014) também aplicaram a metodologia ABRP na Universidade do Texas, nos EUA, no tema intitulado “A Idade dos Dinossauros”, na área da Paleontologia, do curso de Ciências

da Terra. A duração da intervenção perfez um semestre, em aulas de setenta e cinco minutos, duas vezes por semana, com uma amostra de vinte alunos. O objetivo da investigação centrou-se em determinar a eficácia desta metodologia ao produzir um enquadramento que permitisse aos alunos adquirir experiências de aprendizagem significativas, alcançando resultados de aprendizagem esperados. A avaliação ocorreu através questionários elaborados pelo investigador, análise de resultados a nível universitário, afirmações de resposta livre e dados semanais recolhidos durante o semestre. Os resultados obtidos foram bastante favoráveis à metodologia ABRP, tendo os investigadores considerado que esta também se constitui como uma preparação excelente para as futuras carreiras dos estudantes, dado que estes, no seu emprego, provavelmente trabalharão em grupo, apresentando soluções para os problemas surgidos.

Congruentemente, tal como na literatura nacional, os estudos realizados no estrangeiro focam-se sobretudo nos efeitos produzidos após a aplicação da metodologia de ABRP, não existindo referências que correlacionem o modo de pensamento de jovens universitários no decurso da metodologia ABRP, na GA, tendo em consideração a utilização de uma medida de reflexão epistemológica adequada para esse fim. Assim, se a ABRP tem preocupações relevantes no desenvolvimento de competências dos estudantes, torna-se premente referenciar a complexidade de pensamento no ensino superior, objeto do nosso estudo.

1.4. A complexidade do pensamento dos estudantes do Ensino Superior

De acordo com Piaget (1950), o pensamento evolui através de uma série de estádios, atingindo o seu apogeu máximo cerca dos 12 - 16 anos. Significa isto que o adolescente está capaz de usar um raciocínio hipotético-dedutivo, partindo de hipóteses/possibilidades e não apenas de material concreto/real como acontecia no estádio anterior (estádio operatório concreto, 6/7 - 11/12 anos). No culminar da evolução da inteligência (leia-se capacidade adaptativa), o adolescente será capaz de pensar de modo científico, formulando hipóteses e submetendo-as a testes empíricos.

A obra coletiva publicada na década de cinquenta do século XX de Inhelder e Piaget (1955), "*De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent,"* torna-se uma das fontes mais relevantes para a investigação que se vai desenvolver na segunda metade do século XX, pelo grupo que ficou conhecido como os "neopiagetianos" - por exemplo, Perry, Kitchener, Baxter-Magolda, entre outros (Bastos, 1998). Note-se que Piaget defendia um estádio final de inteligência – o estádio operatório formal (cerca dos 12-16 anos). Nos anos setenta, esta ideia foi posta em causa, sendo o primeiro modelo dedicado ao desenvolvimento epistemológico dos estudantes do ensino superior atribuído a Perry (Faria, 2008; Hofer & Pintrich, 1997). Assim sendo, decorrente do estudo longitudinal que levou a efeito em Harvard, nos anos cinquenta, para determinar como os estudantes respondiam aos desafios intelectuais e morais que enfrentavam durante os seus anos universitários, Perry (1970) formulou um Esquema de Desenvolvimento Intelectual e Ético (*Scheme of Intellectual and Ethical Development*) com uma escala de nove posições. Estas foram posteriormente agrupadas em três níveis (Perry, 1981): dualista (posições 1-3); relativista (posições 4-6) e compromisso no relativismo (posições 7-9), que traçam a evolução do pensamento do estudante, desde a visão dualística de um mundo polarizado até à capacidade de pensar em termos abstratos, analisando os elementos disponíveis e comprometer-se com uma posição particular, consciente dos limites do próprio conhecimento.

A teoria de desenvolvimento cognitivo de Perry pode ser inserida num paradigma construtivista (Baxter Magolda, 2001), com alicerces numa abordagem neopiagetiana (Faria, Soares, Silva & Bastos, 2015). É de salientar que Piaget (1972), no seu artigo intitulado "*Intellectual evolution from adolescence to adulthood*", já admite a possibilidade de desenvolvimento cognitivo/intelectual na vida adulta. No entanto, foi um conjunto de inúmeros investigadores que reuniu evidências sobre aquilo que pode ser designado por "pensamento pós-formal", ou seja, o quinto estádio que sucederia ao quarto estádio de Piaget de pensamento formal, expandindo a sua teoria (Bastos, 1998). Assim, tal como Kramer (1989) defende, o pensamento pós-formal consegue ser independente da lógica dualista e permite que os sujeitos se confrontem e reflitam sobre a natureza relativista do conhecimento, nomeadamente através da aceitação da contradição como parte da realidade dos sistemas complexos. Contudo, de acordo com Pavelich e Moore (1996), os professores universitários enfrentam uma dificuldade fundamental quanto à implementação de problemas abertos ou mal-estruturados: os estudantes dos primeiros anos de licenciatura limitam-se a procurar "a" resposta certa e não compreendem que as evidências têm que ser usadas para justificar uma

decisão. Estas crenças arreigadas, segundo os autores Felder e Brent (2004a), têm por referência o que lhes foi dito pelas figuras de autoridade (por exemplo, professores), não se verificando um questionamento crítico ou procura de evidências para testar a sua validade. Assim, para estes alunos, todo o conhecimento é certo ou incognoscível – o que pode ser encarado como uma visão simplista e errónea da ciência – atribuindo-se aos professores o papel de saber a verdade que eles irão replicar em tarefas e testes. Para Pavelich e Moore (1996), os trabalhos de Perry enfatizam a ideia de que a aprendizagem do estudante no ensino superior deve percorrer um caminho norteado por formas mais complexas de pensamento sobre o mundo, envolvendo mudanças qualitativas significativas do modo como o aluno encara o seu próprio conhecimento e os conteúdos programáticos. Segundo King e Magun-Jackson (2009), que também se debruçaram sobre os estudos de Perry relativamente a padrões de conhecimento dos estudantes que progrediam no ensino superior, estes são classificados em quatro categorias, em vez de apenas três níveis: dualismo (resposta certa de uma figura de autoridade); multiplicidade (conhecimento baseado em opiniões diferentes); relativismo (conhecimento baseado num cenário conhecido) e compromisso (o conhecimento era uma decisão baseada em informação conhecida).

Neste sentido, atendendo aos estudos de Felder e Brent (2004a), Marra, Palmer e Litzinger (2000) e Pavelich e Moore (1996), os estudantes deverão evoluir desde uma aceitação inquestionável da autoridade absoluta do professor (posições 1 e 2 – visão dualística do mundo, isto é, bom vs. mau; certo vs. errado, segundo a qual todas as questões morais e intelectuais têm uma resposta única, que os estudantes tendem a reproduzir nos testes), para mais tarde engendrarem numa aceitação gradual de múltiplas perspetivas e independência face ao entendimento da autoridade. Esta evolução começa a ser percetível nas posições 3 (na qual, para além da categoria “certa” e “errada”, passa a existir a “ainda desconhecida”, ou seja, a diversidade de ideias é legitimada, mas a incerteza apenas temporária porque a “verdade” existe) e posição 4 (surgindo a variante de “nunca saberemos de certeza”, para além das categorias “certa” ou “errada”). A transição a partir da posição 4 representa, segundo Pavelich e Moore (1996), uma transformação profunda para uma visão essencialmente relativista, na qual o próprio indivíduo também é encarado como uma fonte de conhecimento, para além do professor ou do manual escolar. O relativismo contextual da posição 5 (caracterizado por uma crença que não existem respostas absolutas ou autoridades certas, com a autoconsciência de se ser um produtor ativo de significado), evolui para a posição 6 (na qual passa a ser natural a resolução de problemas abertos, realizar julgamentos, utilizar evidências ou avaliar

alternativas). O compromisso com o relativismo (posições 7-9), menos estudadas em relação às etapas anteriores, reflete definições de identidade num mundo relativista (Tabela 1.4).

Tabela 1.4 – As posições de Perry relativamente ao conhecimento e à aprendizagem.

Posição de Perry	Conhecimento	Aprendizagem
1. Dualismo Básico	O conhecimento é certo ou errado, uma coletânea de factos	Recebe respostas corretas da autoridade
2. Multiplicidade pré-legitimada	O conhecimento é geralmente certo ou errado	As autoridades são a fonte das respostas certas e facultam-nos problemas para que consigamos aprender a verdade
3. Multiplicidade legitimada, mas subordinada	O conhecimento é certo ou errado e algum conhecimento é temporariamente desconhecido.	A autoridade é a fonte das respostas ou a fonte do método para encontrar as respostas.
4. Multiplicidade	Algum conhecimento é certo ou errado, mas a maioria é desconhecido. Quando as autoridades não sabem, qualquer um tem direito à sua opinião.	As autoridades são a fonte dos modos de pensar.
5. Relativismo contextual	A maior parte do conhecimento é contextual e pode ser julgado qualitativamente.	O estudante aprende métodos e critérios da sua disciplina. Começa a metacognição.
6. Compromisso previsto	O conhecimento não é absoluto, mas o estudante aceita responsabilidade por fazer julgamentos.	O estudante aceita responsabilidade de fazer um compromisso baseado nos seus valores.
7, 8 e 9. Compromisso no relativismo	Compromissos realizados num mundo relativista como afirmação da própria identidade da pessoa.	Opções tomadas diante de alternativas legítimas e depois de experimentar dúvida genuína.

(Adaptado de Marra et al., 2000, p. 40).

Em termos de padrões de conhecimento, Felder e Brent (2004a) referem que geralmente os caloiros entram na universidade na posição de dualismo e saem na posição de multiplicidade, sendo poucos os licenciados que alcançam a posição de relativismo contextual, muito mais típico da pós-graduação.

Faria e Bastos (2010) apontam que o modelo teórico de Perry como base para outros modelos teóricos sobre o desenvolvimento epistemológico, tomando como referência uma série de posições que evoluem em termos de complexidade, culminando em modos de conhecimento "capazes de lidar com a contradição, incerteza, a ambiguidade e mudança, e que permitem sustentar a formulação e afirmação de compromissos próprios" (p.199). Dentre os vários modelos, desenvolveremos o Modelo de Reflexão Epistemológica de Baxter Magolda (1992),

cuja autora reconhece como sendo resultado do potencial do esquema atrás referenciado de Perry, o que a levou a desenvolver um modo preciso, mas prático, para aferir a teoria daquele investigador, com a intenção de medir as posições 1-5 (Baxter Magolda, 2001). Este modelo tem-se vindo a tornar significativamente relevante, sobretudo na área de educação do ensino superior (Faria et al., 2015). De sublinhar, que a Medida de Reflexão Epistemológica (MER, Baxter Magolda & Porterfield, 1985; versão portuguesa, Bastos & Faria, 2003), será utilizada no Programa de Intervenção deste estudo, para aferirmos os ganhos do desenvolvimento epistemológico dos alunos, submetidos à metodologia ABRP.

Os resultados serão interpretados tendo por referência o Modelo de Reflexão Epistemológica (Baxter Magolda, 1992). Esta abordagem, que subjaz a uma linha de índole construtivista, focaliza-se na interpretação do modo como os indivíduos perspetivam o conhecimento – modos de conhecimento (*ways of knowing*) - categorizados em quatro graus de progressão: (1) modo de conhecimento absoluto; (2) modo de conhecimento de transição; (3) modo de conhecimento independente e (4) modo de conhecimento contextual, de acordo com cinco domínios: (A) o papel do estudante; (B) o papel dos colegas; (C) o papel do professor; (D) papel da avaliação e (E) a natureza do conhecimento (Tabela 1.5).

No que diz respeito ao modo de conhecimento absoluto, os indivíduos que se enquadram neste tipo de categoria, apresentam uma série de características comuns nos diferentes domínios já elencados. A nota dominante é a perspetiva do conhecimento tido como certo, por supostamente existirem sempre respostas absolutas; os peritos sabem a verdade e têm a responsabilidade de a comunicar (o professor tem todas as respostas e os alunos obtêm assim o seu conhecimento); se existirem diferentes opiniões, estas não alteram os factos; os métodos de ensino devem focar-se na aquisição e memorização da informação necessária; não reconhecem os colegas como fontes de conhecimento legítimo, a não ser que partilham o que adquiriram com as figuras de autoridade (Baxter Magolda, 1992; Felder & Brent, 2004a). Os “conhecedores absolutos” tendem a ser negativos sobre metodologias centradas no aluno, pois perspetivam os instrutores como a única fonte legítima de transmissão da informação (Felder & Brent, 2004b).

Tabela 1.5. – Modelo de Reflexão Epistemológica.

Domínios	Conhecimento Absoluto	Conhecimento de Transição	Conhecimento Independente	Conhecimento Contextual
Papel do estudante	- Obtém o conhecimento do professor	- Compreende o conhecimento	- Pensa por si mesmo - Partilha as suas perspetivas com os outros - Cria as suas próprias perspetivas	- Permuta e compara perspetivas - Pensa através de problemas - Integra e aplica conhecimento
Papel dos Colegas	- Partilham materiais - Explicam o que aprenderam uns aos outros	- Fornecem trocas ativas	- Partilham perspetivas - Servem como fonte de conhecimento	- Melhora a aprendizagem através de contribuições de qualidade
Papel do Professor	- Comunica o conhecimento de forma apropriada - Assegura que os estudantes entendem o conhecimento	- Usa métodos visando a compreensão - Emprega métodos que auxiliam na aplicação do conhecimento	- Promove o pensamento independente - Promove a troca de opiniões	- Promove a aplicação do conhecimento em contexto - Promove discussões avaliativas de perspetivas - Estudante e professor criticam-se mutuamente
Papel da Avaliação	- É um meio de mostrar ao professor o que aprendeu	- Mede a compreensão dos estudantes sobre o material	- Recompensa o pensamento independente	- Mede com precisão a competência - Estudante e professor trabalham com vista a um objetivo e medem o progresso
Natureza do Conhecimento	- Certo ou absoluto	- É parcialmente certo e parcialmente incerto	- É incerto: todos têm as suas próprias crenças	- É contextual; julga-se com base em evidências no contexto

(Adaptado de Baxter Magolda, 1992, p.30).

O facto de se encararem os peritos como não detentores de todo o conhecimento é o que marca a passagem entre o modo de conhecimento absoluto e o

de transição (Baxter Magolda, 1992). Os apologistas do modo de conhecimento de transição ainda acreditam que o conhecimento absoluto exista em algumas áreas, mas aceitam a incerteza em alguns domínios, o que pode ser o resultado de as respostas serem ainda desconhecidas (ou seja, algum conhecimento é certo e outro não); os peritos têm a responsabilidade de comunicar as certezas, e os estudantes são responsáveis por fazerem os seus próprios juízos em relação às incertezas; os professores deverão aplicar métodos que se foquem na compreensão e aplicação de conhecimentos; a avaliação deverá medir a "compreensão" em vez da "aquisição" de conhecimentos em relação aos conteúdos; os colegas ainda não são "a" fonte de conhecimento, mas ajudam a promover a compreensão e têm um papel mais ativo, limitando-se a relevância da sua opinião às áreas mais incertas do conhecimento (Baxter Magolda, 1992; Felder & Brent, 2004a). Os "conhecedores de transição" acreditam que os peritos têm o monopólio da verdade e por isso serão menos hostis que os "conhecedores absolutos" a qualquer forma de aprendizagem centrada no aluno (Felder & Brent, 2004b).

Na passagem para o modo de conhecimento independente, operam-se mudanças estruturais relevantes, sendo que agora a maior parte do conhecimento passa a ser perspetivada como incerta, em que as diferentes opiniões dos peritos refletem essa ambiguidade, deixando estes de personificar a fonte única de conhecimento; acreditam que o conhecimento está aberto a muitas interpretações e que as pessoas devem estar recetivas às ideias umas das outras; são valorizados os instrutores que promovem o pensamento independente e a transição de opiniões na aula; os pares tornam-se uma fonte legítima de conhecimento, em vez de uma parte do processo de aprendizagem; o estudante não deve ser penalizado em termos de avaliação se apresentar uma versão diferente da do professor, devendo ser recompensado o pensamento independente (Baxter Magolda, 1992; Felder & Brent, 2004a). Neste caso, os conhecedores independentes acreditam que são eles os principais responsáveis pela sua própria aprendizagem e por isso tornar-se-ão mais recetivos a metodologias centradas no estudante e a valorizar professores que as utilizem (Felder & Brent, 2004b).

Na passagem para o conhecimento contextual, os estudantes podem fazer juízos resultantes do seu ponto de vista individual, mas este deve ser sustentado em evidências, permanecendo abertos à reconstrução das suas decisões face a provas futuras; o conhecimento é ainda incerto, mas não se aceita a perspetiva do "vale tudo"; a aplicação de conhecimento deve ser realizada num determinado contexto, havendo oportunidades de discussão para aluno e professor se criticarem mutuamente; a

avaliação é mais flexível e pode assumir qualquer tipo, desde que seja contextualizada e apropriada às competências requeridas, sendo que a medição do progresso deve ser realizada conjuntamente entre estudante e professor; os pares são valorizados se basearem as suas observações em evidências (Baxter Magolda, 1992; Felder & Brent, 2004a). Segundo estes últimos autores, Felder e Brent (2004b), os estudantes em análise deverão ser mais abertos a metodologias centradas no aluno do que a metodologias tradicionais e, como são relativamente sofisticados no uso do raciocínio baseado em evidências, deverão conseguir bons resultados com estes métodos. Salientam ainda que o modo de conhecimento contextual deveria ser o objetivo da formação académica, sobretudo em áreas como as ciências ou a engenharia, por geralmente se focarem na análise de factos e de procedimentos rotineiros que não confrontam os estudantes com a incerteza do conhecimento. Ou seja, segundo os autores atrás citados, a maior parte dos estudantes não progride muito para além do que se encontrava quando entrou na universidade, no que diz respeito ao pensamento epistémico.

Capítulo II

A Geologia e o Ambiente

2.1. Contributos da Geologia para a Educação Ambiental

Os primórdios científicos da Geologia situam-se entre os séculos XVIII e XIX, tendo-se efetuado a sua afirmação e autonomia em relação às restantes ciências no século XIX (Bolacha, 2008; Brilha, 2004). Em meados da segunda metade do século XX, o surgimento da Teoria da Tectónica de Placas constituiu uma grande revolução no desenvolvimento deste saber, surgindo como uma Teoria Unificadora, que posteriormente se veio a articular conjuntamente com o estudo da Terra como um sistema (Bolacha, 2008; Merritts, Wet & Menking, 1998). Nesta perspetiva, adveio a necessidade de analisar os sistemas naturais como sistemas complexos segundo uma visão integradora, com vista à resolução de problemas relacionados com o progresso e bem-estar da sociedade.

O planeta Terra existe há 4 600 M.a, e nunca antes, como agora, uma espécie dominou o seu ambiente e as outras espécies de forma tão completa (McKinney & Schoch, 2003). Refira-se que o ambiente pode ser entendido como a soma de todos os recursos e condições que rodeiam um organismo e o influenciam, quer a nível físico, quer a nível biológico (Montgomery, 1995; Murck, Skinner & Porter, 1996). No decurso da evolução do planeta Terra, os seus componentes (rochas, solo, água, ar e organismos) evoluíram de modo interligado e dependente uns dos outros (Murck et al., 1996). O crescimento populacional humano sem precedentes e de domínio sobre o ambiente (que começou há 10 000 anos com a Revolução Agrícola, mas se acentuou sobretudo após a Revolução Industrial), tem tido impacte direto nos recursos do planeta e no sistema Terra como um todo (Merritts et al., 1998). De facto, a falsa crença num crescimento económico ilimitado conduziu a sociedade à primeira crise do mundo real: a crise ambiental (Leff, 2003). Esta alteração ambiental é tão profunda que Steffen, Grinevald, Crutzen e McNeill (2011) defendem a criação de uma nova época na escala do tempo geológico: o Antropocénico, que deveria suceder à época do Holocénico, dado que a "humanidade se tornou uma força geológica a nível global" (p.843), sobretudo a partir dos séculos XVIII-XIX.

Com a fundação da Geologia enquanto ciência e, atendendo à resenha efetuada por Morgado, Pinho e Leão (2000), o alvor da consciência ambiental também remonta a finais do século XIX, a nível europeu e norte-americano (com a criação da

Sociedade para a Preservação dos Espaços Abertos, em Inglaterra, e do Parque Nacional de Yellowstone, nos Estados Unidos da América). Contudo, as preocupações ambientais apenas começam a adquirir verdadeira importância social e política depois da segunda guerra mundial, através do surgimento da União Internacional para a Conservação da Natureza (UINC), em 1948, liderada pela UNESCO (Morgado et al., 2000). Segundo Alho e Lopes (2010), no mesmo ano, na época do Estado Novo, cria-se, em Portugal, a Liga para a Proteção da Natureza que abrange especialistas de várias áreas, incluindo a Geologia. Esta instituição dirige prontamente ao Ministério da Educação Nacional uma proposta de envio de uma circular a todos os professores, sensibilizando-os para o facto de a proteção da natureza ser um problema de educação. Contudo, esta ação não teve a aprovação pelo Conselho Permanente da Ação Educativa, apesar de lhe ter sido reconhecida a sua importância.

Atendendo a Morgado e colaboradores (2000), só apenas vinte anos mais tarde, o ambiente passa a fazer parte da agenda política, no III Plano de Fomento Nacional (1968-1973), liderado pelo governo de Marcelo Caetano. A nível internacional, no final da década de sessenta, a questão ambiental ganha contornos cada vez mais relevantes, mas Portugal estava isolado em termos diplomáticos dos outros países devido à guerra colonial (Alho & Lopes, 2010). Assim sendo, foi bem acolhido o convite para a participação na I Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, em Estocolmo, na Suécia, em 1972, tendo sido criada, no ano anterior, a Comissão Nacional do Ambiente, a fim de proceder à preparação dos trabalhos da participação portuguesa. É nesta conferência que tem origem o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e se torna clara a importância da educação para o ambiente e proteção dos recursos naturais e da biodiversidade (Schmidt, Nave & Guerra, 2010). Este acontecimento é apontado por Morgado e colaboradores (2000), a par com Teixeira (2012), como o arranque definitivo da Educação Ambiental (EA) no panorama nacional, perspetivada como vertente de aprendizagem e de cidadania. O impulso atrás referido acaba por dar frutos três anos mais tarde, com o estabelecimento, em 1976, do Direito Fundamental ao Ambiente, na Constituição da República Portuguesa (Alho & Lopes, 2010). A nível internacional, em 1975, a UNESCO e o PNUMA já haviam criado o Programa Internacional de Educação Ambiental (EA) e a conferência da UNESCO em Tbilisi, na Geórgia, em 1977, é a primeira conferência intergovernamental dedicada à EA (Martinho 2003, citado em Schmidt et al., 2010).

No panorama nacional, os anos oitenta, são de progressão nesta matéria, quer devido à adesão, em 1986, à Comunidade Económica Europeia - CEE (que obrigou à transposição de diversas diretivas comunitárias sobre o ambiente) quer com a publicação, em 1987, da "Lei das Associações de Defesa do Ambiente" e a "Lei de Bases do Ambiente" (Schmidt et al., 2010). No princípio Geral da Lei de Bases do Ambiente, consta o seguinte (Teixeira, 2012):

> "Todos os cidadãos têm o direito a um ambiente humano e ecologicamente equilibrado e o dever de o defender, incumbindo ao Estado, por meio de organismos próprios e por apelo a iniciativas populares e comunitárias, promover a melhoria da qualidade de vida, quer individual, quer coletiva. A política de ambiente tem por fim otimizar e garantir a continuidade de utilização dos recursos naturais, qualitativa e quantitativamente, como pressuposto de um desenvolvimento autossustentado". (p.107)

Relativamente a este assunto, Schmidt e colaboradores (2010) afirmam que com a integração de Portugal na CEE, a Lei de Bases do Sistema Educativo veio a contemplar a EA em todos os níveis de ensino. De sublinhar que, no contexto português, em termos históricos, a década de oitenta também constituiu uma referência na sociedade civil, pois a aprovação da Lei das Associações de Defesa do Ambiente, leva à criação de vários organismos, entre os quais o GEOTA (Grupo de Estudos de Ordenamento do Território e Ambiente), em 1986 e, no ano seguinte, é lançado pelo Instituto Nacional do Ambiente (INAMB) o primeiro boletim mensal denominado "EA – Educação Ambiental". É também em 1987 que, a nível internacional, ocorre a publicação do Relatório Bruntland (cujo nome deriva da ex-primeira ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland), intitulado "*Our Common Future*" (O Nosso Futuro Comum), no qual foi popularizado o conceito de "desenvolvimento sustentável" (*sustainable development*), que corresponde ao desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer as necessidades das futuras gerações de satisfazerem as suas próprias necessidades (Alho & Lopes, 2010; Dam-Mieras, Lansu, Rieckmann & Michelsen, 2007). Contudo, Diemer e Marquat (2016), recorrendo a várias fontes, apontam que este conceito terá sido originalmente criado pela União Internacional para a Conservação da Natureza, ao referir-se a uma forma de "desenvolvimento que respeite o ambiente e o utilize de maneira prudente com base numa exploração racional e moderada da natureza e dos seus recursos, de modo a assegurar a manutenção indefinida da produtividade biológica da biosfera no interesse das gerações futuras" (p. 50). Ainda a nível europeu, em 1988, o Conselho de Ministros da Comunidade Europeia, aprova a "Resolução

Europeia sobre Educação Ambiental", onde se aponta a importância da EA para "constituição e fundamentação de uma cidadania europeia" (Teixeira, 2012, p.108).

Assim sendo, atendendo a Leff (2003), considera-se que desde os anos setenta do século passado, foi iniciada uma ampla discussão mundial orientada para formar uma nova consciência sobre o valor da natureza e desenvolver experiências para colocar em prática os princípios da EA. Segundo Pérez (1995), é a partir dessa década que se começa a contemplar explicitamente a área de conhecimento da EA nas taxonomias das Ciências Pedagógicas, considerando três fases na sua consolidação:

(1) Fase de exploração prática do meio ambiente como recurso educativo: o meio ambiente é encarado como um instrumento ativo, como possibilidade de aprendizagem e fonte de estímulos para a maturação pessoal;
(2) Fase de conceptualização e formalização teórica das experiências: há uma menção direta ao meio ambiente, aos seus estímulos e recursos como fontes de maturação;
(3) Fase de expansão concetual e amplificação axiológica: em meados da década de oitenta, a perspetiva da relação sujeito-meio ambiente começa a consolidar-se refletindo-se essa alteração na sistemática educativa, com novas preocupações em termos ambientais.

Os anos noventa seguintes espelham este incremento da importância da EA em termos nacionais e internacionais. Em Portugal, em 1992, realizaram-se duas conferências importantes (as Jornadas de EA para Associações de Defesa do Ambiente e a VI Conferência Internacional de EA), que continuaram a colocar a EA na ordem do dia (Schmidt et al., 2010). Por sua vez, o ano de 1996 foi vantajoso para a EA, com projetos relevantes a serem aprovados e colocados em prática a nível do ensino formal e não formal (Schmidt et al., 2010). Refira-se, a título de exemplo, em 1997, a abertura ao público do Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios da Serra de Aire e Candeeiros (Alho & Lopes, 2010).

No plano internacional, o evento que marcou a agenda do início da década de noventa, com impacte a nível mundial, foi a "2ª Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento" (Eco92), no Rio de Janeiro, em 1992 (Alho & Lopes, 2010). É de aceitação generalizada que, apesar de hoje em dia o "ambiente" ser um tema incontornável a nível mundial, a sua importância terá sido reconhecida sobretudo a partir do relatório Bruntland, atrás referido, que constituiu um contributo central para

a Eco92, na qual foram aprovadas a Agenda 21, a Convenção sobre Alterações Climáticas, a Convenção sobre Biodiversidade, a Convenção do Rio sobre Ambiente e o Desenvolvimento Sustentável e a Declaração sobre Florestas (Alho & Lopes, 2010). Desde a Cimeira do Rio em 1992, a Agenda 21 emergiu como um plano de ação para o progresso, enfatizando a sustentabilidade como um aspeto chave da EA, (Vasconcelos, 2010a) e constituindo uma referência para muitos dos projetos de EA nacionais (Agência Portuguesa do Ambiente, 2017). Sublinhe-se que agora o conceito de "desenvolvimento sustentável" passa a assentar em três áreas fundamentais: social, económica e ambiental, tornando pela primeira vez evidente a tensão entre sustentabilidade ecológica, justiça social e desenvolvimento económico (Dam-Mieras et al., 2007).

Contudo, a entrada no novo milénio é classificada por Schmidt e colaboradores (2010) como um "refluxo" ou "retrocesso" (p. 47), dado que, para além do desaparecimento ou fusão de determinadas instituições de renome (como o Instituto de Promoção Ambiental - IPAMB), as estratégias direcionadas para a EA acabam por não ter seguimento, e o apoio financeiro começou a diminuir, tendo reflexos negativos a nível dos projetos desenhados nas escolas. Segundo a mesma fonte, no contexto nacional, há a assinalar, em 2005, o estabelecimento de um protocolo, entre os Ministérios da Educação e do Ambiente, destinado à promoção da EA para a sustentabilidade em todo o ensino básico e secundário. Em 2006, é aprovada a "Estratégia Nacional do Desenvolvimento Sustentável". No entanto, de acordo com os autores atrás mencionados, este período falha as expectativas criadas para a EA na anterior década de noventa pois "faz falta uma política estratégica de educação para o ambiente e o desenvolvimento sustentável que possibilite uma mais consistente integração e articulação da temática ambiental no ensino formal" (p. 55).

Este desinvestimento vai em sentido oposto do que acontece a nível internacional. Assim, em 2000 ocorre a Cimeira do Milénio, em Nova Iorque, na qual é firmada a "Declaração do Milénio", sob a égide das Nações Unidas. No documento, um dos valores e princípios essenciais recomendados para as relações internacionais do século XXI é o "Respeito pela Natureza", para além da enumeração de medidas que visam a "proteção do nosso ambiente comum" (United Nations Millenium Declaration, 2000). Note-se que este acordo entre 191 países serviu de base para a posterior enunciação dos oito "Objetivos do Desenvolvimento do Milénio", destacando-se aqui o sétimo compromisso que se refere a "Garantir a Sustentabilidade Ambiental".

Outros acontecimentos marcam o início do século XXI em termos de ambientalismo (Schmidt et al., 2010; Teixeira, 2012): o VI Programa do Ambiente Europeu, em 2001, passa a incluir a EA em todos os patamares de ensino; ocorre a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, em Joanesburgo; em 2005, é assinada a "Estratégia da Educação para o Desenvolvimento Sustentável", na União Europeia; decorre na Índia a "4ª Conferência Internacional de Educação Ambiental", em 2007 e é proclamada a "Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (DEDS)" pela Assembleia-Geral das Nações Unidas e liderada pela UNESCO, para o período de 2005-2014.

Na senda deste acontecimento, é de particular relevo o facto de, em 2005, a Organização das Nações Unidas ter proclamado o triénio de 2007 a 2009, com destaque para 2008, como o "Ano Internacional do Planeta Terra", integrando-o na década DEDS (2005-2014). No relatório elaborado sobre este acontecimento, da autoria de Woodfork e Mulder (2011), aponta-se que a Educação em Geociências está diretamente relacionada com dez áreas de intervenção a nível global: água subterrânea, desastres naturais, Terra e saúde, alterações climáticas, uso sustentável dos recursos, megacidades, o interior da Terra, oceanos, solos e origem da diversidade da vida na Terra. No documento, são recorrentes as referências à interdependência entre os subsistemas terrestres (por exemplo, através do conceito de "geobiologia"), impacte ambiental e articulação com a noção de sustentabilidade. No "Documento Final do Plano Internacional de Implementação" da DEDS (UNESCO, 2005), reitera-se a evolução do conceito de desenvolvimento sustentável, assente em três pilares: de sociedade, meio ambiente e economia, enfatizando-se o papel chave da educação na promoção dos valores inerentes aos desafios colocados pelo ambiente. Sublinhe-se o papel que a EA passa a desempenhar no desenvolvimento sustentável, assinalada da seguinte forma no documento em questão (UNESCO, 2005):

> "Educação Ambiental é uma disciplina bem estabelecida que enfatiza a relação dos homens com o ambiente natural, as formas de conservá-lo, preservá-lo e de administrar os seus recursos adequadamente. Portanto, desenvolvimento sustentável engloba Educação Ambiental, colocando-a no contexto mais amplo dos fatores socioculturais e questões sociopolíticas de igualdade, pobreza, democracia e qualidade de vida". (p. 46)

Atualmente, verifica-se alguma controvérsia quanto ao uso dos conceitos de EA e de Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) abordada por Vasconcelos (2009) e Schmidt e colaboradores (2010). A primeira investigadora alerta

que a DEDS "atualiza o desafio paradigmático da EA quando a nomeia Educação para o Desenvolvimento Sustentável" e aponta para a necessidade de "redefinição dos objetivos da EA, aceites consensualmente há décadas e desajustados dos contextos político, social, ecológico, cultural e histórico atuais, direcionando-os, agora, para a interação entre o ser humano e o ambiente" (p. 1066). Na mesma linha de pensamento, na publicação de Schmidt e colaboradores (2010), apesar de se efetuar uma reflexão quanto a semelhanças e diferenças entre EA e EDS, as duas expressões acabam por ser utilizadas como equivalentes, fazendo-se a referência simultânea "EA/EDS". Note-se, contudo que, para estes autores, a EA se constitui como um processo para promover a consciência ambiental dos cidadãos, nomeadamente na participação e tomada de decisões informadas sobre as suas ações em relação ao ambiente, enquanto a EDS se parece orientar mais para uma perspetiva transversal e mais abrangente, pois o ambiente passa a ser perspetivado também em termos de desenvolvimento, em concomitância com a economia e sociedade.

Teixeira (2012) defende que o significado de EA vai evoluindo com as mudanças de paradigmas que vão sendo operadas sucessivamente no século XX, desde a década de sessenta dos "estudos na natureza", para a década de setenta de "educação para a conservação", passando para a "educação para o desenvolvimento" nos anos oitenta, continuando na "educação para um futuro sustentável", na década de noventa e promovendo uma "comunidade de parceiros", no começo do século XXI. Para além disso, o autor partilha a visão de que a EA deva ser reconceptualizada como um sinónimo de Educação para o Desenvolvimento Sustentável ou Educação para a Sustentabilidade. É convicção do autor que, "de uma educação *sobre* o ambiente, de uma educação *no (do)* ambiente, ou de uma educação *para* o ambiente, afirmar-se uma educação *com* o ambiente, mais completa" (p. 120).

Mais recentemente, em 2015, foi publicada a resolução "Transformar o nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável", pela ONU, que compreende dezassete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Estes são sucessores dos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milénio e orientam-se de acordo com cinco áreas temáticas nas quais se baseiam as estratégias a adotar, identificadas pelos 5 Ps – Pessoas, Prosperidade, Planeta, Paz e Parcerias (United Nations, 2015).

No contexto nacional, a EA ganha um novo fôlego através do anúncio da "Estratégia Nacional para a Educação Ambiental (ENEA 2020)", aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros nº100/2017, de 8 de junho. Este documento foi redigido tendo por base o Acordo de Paris e a Agenda 2030, e organiza-se em torno

de três eixos fundamentais: (1) descarbonizar a sociedade, (2) tornar a economia circular e (3) valorizar o território, para o período 2017-2020 (Agência Portuguesa do Ambiente, 2017). Nos princípios orientadores que subjazem a este plano estratégico, contam-se os seguintes: educar tendo em conta a experiência internacional e a experiência nacional; educar para a capacitação da sociedade face aos desafios ambientais; educar para a sustentabilidade (sendo um dos pontos focados a importância da geodiversidade) e para assegurar a qualidade de vida; educar para uma cidadania interveniente (Agência Portuguesa do Ambiente, 2017). Nas várias ações a serem promovidas em cada eixo temático, encontram-se diversas conexões de ordem geológica, nomeadamente nas que dizem respeito a: mitigação das causas antropogénicas das alterações climáticas, aumento da eficiência energética através da conservação dos recursos naturais e utilização de energias a partir de fontes renováveis, independência dos combustíveis fósseis rumo a uma mobilidade sustentável e, ainda, desmaterialização da economia colaborativa e consumo sustentável, por meio da redução de recursos extraídos e da sua reutilização e reciclagem, diminuindo o desperdício (Agência Portuguesa do Ambiente, 2017).

Face ao exposto, verifica-se que se pode estabelecer uma ponte entre a evolução da perspetiva da EA com o uso que se foi fazendo do conhecimento científico em Geologia. Assim, a visão economicista tradicional relacionada com a exploração dos recursos minerais energéticos e não energéticos, na construção civil ou recursos hídricos foi complementada pela procura recente de soluções para os problemas ambientais, como o caso das áreas de risco, desertificação, geoflutuações e mudanças globais. Tal como refere Bacci (2009), “estes aspetos relacionam-se com a EA na medida em que se faz necessária a compreensão do papel do indivíduo perante as mudanças que estão ocorrendo hoje no planeta e da responsabilidade diante dessas transformações” (p. 2).

Em termos científicos, a Geologia é o estudo da Terra e dado que o planeta proporciona o ambiente físico no qual vivemos, de acordo com Montgomery (1995), toda a Geologia pode ser encarada como Geologia Ambiental. O sentido abrangente desta constatação pode também ser, de algum modo, evidenciado na análise de Murck e colaboradores (1996) quanto às origens e objetivos da Geologia Ambiental enquanto ciência. Estes investigadores partem do pressuposto que a Geologia tem sido dividida em duas áreas de estudo: Geologia Física (que se ocupa dos processos e materiais geológicos) e Geologia Histórica (cujo enfoque se relaciona com a cronologia dos acontecimentos planetários). Ora, a Geologia Ambiental, por um lado,

enfatiza a compreensão dos processos terrestres e materiais que afetam a vida humana e, por outro, contribui para a compreensão do passado da dinâmica da relação do ser humano com a Terra, projetando-a simultaneamente no futuro (Murck et al., 1996), o que significa que abrange os dois domínios científicos anteriormente referidos. Na perspetiva de Bennett e Doyle (1997) a Geologia Ambiental surgiu como resultado de uma interação mais restrita entre três áreas do saber do domínio da Geografia, Geologia e Engenharia: Geomorfologia Aplicada, Geologia Económica e Engenharia Geológica (respetivamente), situando-se a sua autonomização enquanto ciência, segundo Bacci (2009) na década de oitenta século XX (Figura 2.1).

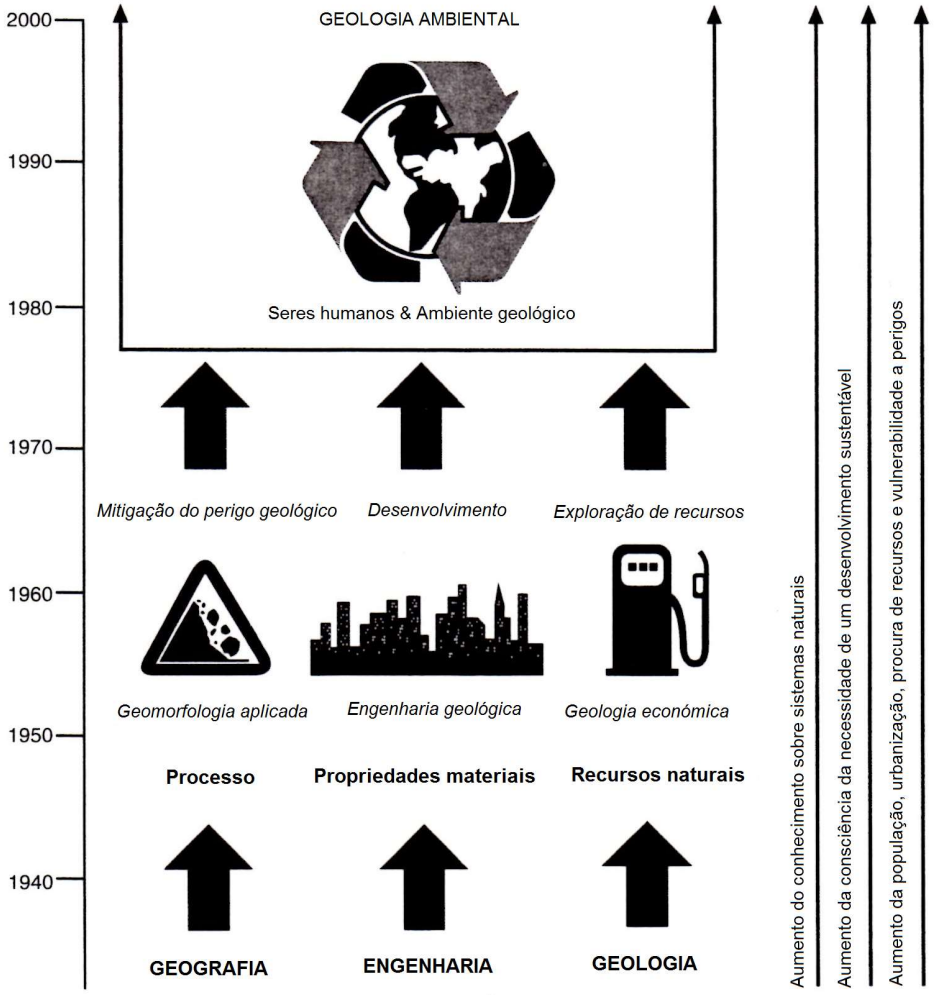


Figura 2.1 – A Geologia Ambiental como produto da interação entre a Geomorfologia Aplicada, a Engenharia Geológica e a Geologia Económica (adaptado de Bennett & Doyle, 1997, p. 6).

A Geomorfologia Aplicada, radicada na Geografia Física, foca-se nos perigos dos processos que modificam a superfície terrestre, na sua mitigação e limites do desenvolvimento humano. Por seu turno, a Geologia Económica centra-se na exploração económica dos materiais terrestres. Quanto à Engenharia Geológica, esta

ciência lida com a resistência e comportamento dos materiais terrestres (Bennett & Doyle, 1997). Na Figura 2.1. também é possível verificar que a emergência da Geologia Ambiental foi resultante de um entrosamento entre o maior conhecimento face aos sistemas naturais, o incremento da procura de recursos, urbanização e vulnerabilidade a perigos em consequência do aumento da população, bem como o despoletar de uma maior consciência em termos de desenvolvimento sustentável.

Uma vez que os problemas ambientais são de ordem complexa, que apelam à interligação entre várias áreas do saber, Montgomery (1995) aponta igualmente os contributos importantes de ciências como a Biologia, Química, Ecologia, Economia ou Política para a sua resolução. Neste campo, Merritts e colaboradores (1998) sublinham que "como as mudanças ambientais e os perigos geológicos são o resultado da influência recíproca de muitos sistemas terrestres, têm que ser avaliados por geólogos ambientais altamente treinados que consigam ultrapassar as barreiras disciplinares" (p. 23).

Bennett e Doyle (1997) salientam ainda que a Geologia Ambiental não se esgota na identificação e avaliação de impactes ambientais resultantes da exploração de recursos minerais, de catástrofes naturais ou da eliminação de resíduos geológicos: deve ser encarada sob a perspetiva de gestão de um sistema natural que tenha em consideração um "desenvolvimento sustentável". Na ótica dos autores, a GA está relacionada com a capacidade de gestão da interação humana com o meio ambiente, de modo a proporcionar recursos minerais, construção segura, assim como estratégias apropriadas de eliminação de resíduos e mitigação do impacte dos perigos naturais, sobretudo em contexto urbano (Figura 2.2.). É neste tipo de ambiente urbano que a GA terá um maior campo de ação, resultante de uma influência mais intensa do ser humano sobre o ambiente que o rodeia (Bennett & Doyle, 1997).

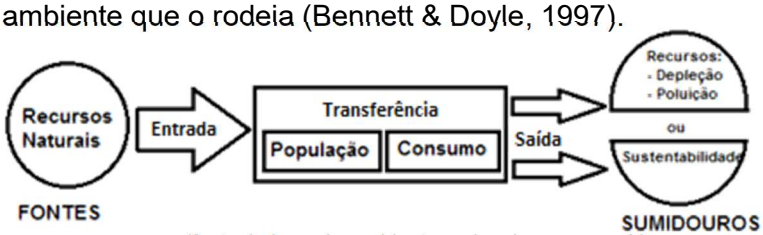


Figura 2.2 – As pessoas usam recursos (fontes) do meio ambiente e devolvem os resíduos novamente para o meio ambiente (sumidouros). Os problemas ambientais podem advir da depleção dos recursos e poluição dos sumidouros (adaptado de McKinney, Schoch, Yonavjak & Mincy, 2017, p.7).

Partindo de estudos efetuados nesta área, Dias (2007) aponta quatro domínios de ação: (1) gestão dos recursos geológicos (que inclui métodos de prospeção exploração, bem como de mitigação dos impactes causados pelos combustíveis fósseis, minerais industriais e água subterrânea); (2) compreensão do ambiente

geológico (com vista à adaptação das edificações à geologia local); (3) utilização adequada do ambiente geológico para o confinamento de diferentes tipologias de resíduos (prevenindo a dispersão de poluentes) e (4) reconhecimento e mapeamento de áreas de risco associados a fenómenos geológicos. Em todos estes domínios, pode reconhecer-se um eixo transversal apontado por Bennett e Doyle (1997):

(i) desenvolvimento sustentável, que em termos geológicos está relacionado, por exemplo, com um equilíbrio entre a exploração de recursos e a manutenção dos processos reguladores dos ecossistemas;

(ii) conflito *versus* gestão do processo natural, dado que a resposta aos perigos naturais deve passar de *estrutural* (que implica, por exemplo, obras de contenção, como o uso de paredões para evitar a erosão costeira) a ser *baseada no processo* (que considera a própria regulação dos sistemas naturais, por exemplo, através de esquemas de realimentação das praias);

(iii) mudança do envolvimento *reativo* para o *proativo* (apostando na prevenção em vez da remediação, por exemplo, no caso do aumento de áreas vulneráveis a perigos geológicos).

Na perspetiva de Bacci (2009), a Geologia Ambiental e a EA tiveram um percurso paralelo, contudo a visão da Geologia Ambiental é de "natureza científica", com "enfoque no meio físico", no qual o "homem é tratado como mais um agente transformador do meio", enquanto na Educação Ambiental predomina a "visão integrada e complexa do ambiente", colocando em destaque "valores e transformações sociais" (p. 6). Mas, segundo a mesma autora, ambas estão interligadas pelas questões ambientais de natureza geocientífica que afetam a sociedade e podem contribuir para uma alteração do paradigma vigente. Todavia, no século que atravessamos, o progresso de uma sociedade tecnologicamente avançada, parece não se compadecer com as alterações ambientais provocadas por um estilo de vida cada vez mais exigente e que dificilmente se parece coadunar com a esperada "sustentabilidade". Neste contexto, a Geologia Ambiental afirma-se como uma área científica privilegiada, que permite incorporar os valores da EA para a sustentabilidade desenhados para o século XXI. Por outro lado, a EA não pode prescindir desta contribuição das geociências, se perspetivarmos o seu caráter interdisciplinar e integrador de diversos domínios científicos. De facto, a educação é o meio indicado para se discutir a complexidade da cultura ambiental, que incorpora todas as áreas do saber (Pesci, 2003). Por essa razão, tal como Bacci (2009) propõe:

> "Faz-se necessário aprimorar as estratégias e metodologias de ensino no ambiente formal e não formal de maneira que os conhecimentos em Geociências associados aos preceitos e fundamentos da EA sejam expandidos e apreendidos pelos estudantes e pela sociedade em geral". (p.12)

Vasconcelos (2010c) defende que as instituições de ensino superior devem desenvolver trabalhos de investigação em Geologia que incluam a vertente da EA para o desenvolvimento sustentável, para que haja uma reorientação curricular em todos os níveis de ensino. Com este propósito, a autora elenca formas de desenvolvimento de competências neste domínio, nomeadamente: repensar os currículos de Geologia no quadro da sustentabilidade; enfatizar conteúdos conceptuais problematizados segundo o eixo geologia - ambiente e implementar metodologias inovadoras de ensino e aprendizagem.

2.2. A Geologia e Ambiente como Unidade Curricular no Ensino Superior

As formações em "Geologia" visam fornecer ao futuro especialista toda a bagagem científica necessária ao conhecimento da "História da Terra", dos seus processos próprios e das dinâmicas de atuação dos seus agentes internos e externos e a possível previsão da sua evolução futura (Freire, Pacheco, Veloso, Rego & Clamote, 2015). Em termos académicos, a Geologia tem uma longa tradição nas universidades e, enquanto curso, surgiu nas universidades de Coimbra, Lisboa e Porto, durante o século passado, em planos de estudo de cinco anos que, com o Processo de Bolonha e após anteriores reorganizações curriculares passaram, de um modo geral, a um plano curricular com três anos, correspondente ao primeiro ciclo de estudos – a licenciatura (Freire et al., 2015). O Processo de Bolonha alicerça-se fortemente na modificação do paradigma de ensino e aprendizagem, de um modelo direcionado para a aquisição de conhecimentos, para um modelo que pretende alcançar sobretudo o desenvolvimento de competências (Reis & Camacho, 2009). Este novo modelo permitiu às universidades flexibilizar o currículo dos cursos oferecidos, dando "maior ou menor ênfase a uma determinada área, de acordo com os seus objetivos" (Mesquita, Flores & Lima, 2011, p.517 citados por Freire et al., 2015, p.231).

A Geologia, como ciência fundamental de investigação ou aplicada no domínio técnico das áreas das engenharias com vincada componente geológica (por exemplo, "engenharia de minas" ou "engenharia geológica") tem revelado um percurso sustentado no quadro do Processo de Bolonha e denota uma preocupação em atender a problemas contemporâneos das sociedades, como o "património natural" e a "qualidade ambiental", assim como em integrar os conhecimentos provenientes de outras áreas disciplinares (o que se traduz, por exemplo, no surgimento de percursos formativos como "geotecnologias" ou "geoambiente") (Freire et al., 2015). Esta observação vem ao encontro do relevo progressivo que a área de Geologia e Ambiente (GA) tem vindo a assumir a nível académico.

Sendo a componente científica desta investigação do domínio da GA, realizou-se uma inventariação sucinta da GA enquanto Unidade Curricular (UC), em diversos cursos das universidades públicas portuguesas, tendo por referência o plano curricular da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP), que serviu de base a este estudo e que, seguidamente, se caracteriza.

A UC da GA é da responsabilidade do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território (DGAOT) da FCUP. De acordo com a informação disponibilizada na página eletrónica da Faculdade[3], as ações do DGAOT "centram-se no estudo da Terra, do Ambiente e dos Recursos Naturais como aspetos fundamentais de um desenvolvimento económico e social harmonioso que, passando pela observação, representação e monitorização da Terra, preservação do ambiente e mitigação dos riscos naturais, propicie uma otimização do ordenamento do território, da valorização e gestão dos recursos naturais e, consequentemente, contribua para um desenvolvimento sustentável". O DGAOT tem responsabilidade e colaboração em formação pré e pós-graduada que abrange os três ciclos de estudos superiores, sendo que ao nível de licenciatura estão contemplados quatro cursos: Arquitetura Paisagista, Ciências de Engenharia, Ciências e Tecnologia do Ambiente (CTA) e Geologia. A UC de GA é ministrada na FCUP durante o primeiro semestre do ano letivo, em várias licenciaturas, mas com maior relevo na licenciatura em Geologia (UC opcional) e CTA (UC obrigatória). O objetivo geral desta UC consiste em "oferecer aos discentes uma competência alargada no domínio da GA, de modo a permitir a sua intervenção nos diferentes níveis destas áreas e respetiva inserção em empresas com fins ambientais", segundo o *site* disponível ao público[4]. A mesma fonte aponta como finalidades pretendidas as seguintes:

[3] https://sigarra.up.pt/fcup/pt/uni_geral.unidade_view?pv_unidade=91, consultado em dezembro de 2017.

[4] https://sigarra.up.pt/fcup/pt/ucurr_geral.ficha_uc_view?pv_ocorrencia_id=408224, consultado em dezembro de 2017.

"- capacidade de resolução de problemas no âmbito da formação em Ciências da Terra e de Ambiente, de interpretação dos processos geológicos vs. ambientais e fundamentação da sua própria argumentação;

- capacidade de recolher, selecionar e interpretar informação relevante, particularmente na área de formação que os habilite a fundamentar as soluções que preconizam e os juízos que emitem, incluindo a análise de aspetos sociais, científicos e éticos relevantes;

- competências que permitam comunicar informação, ideias, problemas e soluções;

- competências que permitam uma aprendizagem ao longo da vida com elevado grau de autonomia".

A UC de GA da FCUP divide-se numa componente teórica e teórico-prática, cujos conteúdos programáticos se encontram expressos na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Conteúdos programáticos da UC de GA na FCUP.

Unidade Curricular (UC): Geologia e Ambiente (FCUP)	
Componente teórica	Módulo I – As alterações climáticas na perspetiva das Ciências da Terra e das Ciências Ambientais Módulo II – Os sistemas litorais e os fenómenos de erosão costeira Módulo III – Os recursos hídricos Módulo IV – Introdução à sismologia Módulo V – Movimentos de massa e estabilidade de vertentes Módulo VI – Geofísica aplicada à deteção de contaminação subterrânea
Componente teórico-prática	Módulo I – Construção de uma carta de risco Módulo II – Determinação da vulnerabilidade costeira Módulo III – Avaliação da dispersão de um contaminante em meio hídrico Módulo IV – Sismologia, ondas e escalas de magnitude Módulo V – Estabilidade de vertentes Módulo VI – Geofísica aplicada à deteção de contaminação subterrânea

(Adaptado de https://sigarra.up.pt/fcup/pt/ucurr_geral.ficha_uc_view?pv_ocorrencia_id=408224, consultado em dezembro de 2017)

Quanto ao panorama do ensino superior público universitário português, no que diz respeito aos planos de estudo nos quais estavam presentes a UC de GA, foi realizada uma pesquisa para esse fim, acedendo aos sites eletrónicos das diferentes universidades. Contudo, dada a grande diversidade de cursos conferentes de grau académico (licenciaturas, pós-graduações, cursos de especialização, mestrados integrados, entre outros), houve necessidade de estabelecer critérios que permitissem uma maior homogeneidade entre as características das UC analisadas, que não pretende ser exaustiva, pelo que:

(i) foram contempladas todas as UC não só com a denominação, em sentido estrito, de "Geologia e Ambiente", mas também as que, sob outra designação, apresentassem um programa semelhante ou de inspiração idêntica ao apresentado na tabela 2.1., da FCUP;

(ii) no levantamento efetuado a partir das informações patentes nos *sites* de internet das diferentes universidades públicas portuguesas, apenas foram considerados os cursos conferentes do grau académico ao nível de primeiro ciclo de estudos - licenciatura, com a duração de três anos[5], excluindo-se também os casos de mestrados integrados;

(iii) dado o caráter eminentemente teórico-prático da UC, foram selecionadas as UC que obrigavam a um regime presencial, excluindo-se, por exemplo, o regime *e-learning* por apelar à mobilização de competências diferenciadas, sobretudo em termos de autonomia.

Ressalve-se que, numa primeira fase da pesquisa, se constatou a existência de UC relacionadas com GA, no primeiro ciclo de estudos de Bolonha, em todas as universidades públicas do país, à exceção das universidades da Madeira, Beira Interior e Algarve. A explicação para esta ocorrência pode residir no facto de a oferta de cursos nas Universidades da Madeira, Beira Interior e Algarve não contemplar nenhuma licenciatura na área da Geologia. Não obstante, a Universidade dos Açores, mercê da licenciatura em "Proteção Civil e Gestão de Riscos", cuja área científica predominante é a Geologia, apresenta diversas UC com conteúdos programáticos na área das geociências aplicadas ao ambiente, denominadas, por exemplo, "Desastres e Catástrofes", "Movimentos de vertente", "Cheias e Inundações", "Avaliação do Impacte Ambiental". Contudo, foi excluída do estudo aqui efetuado pois, apesar de os seus conteúdos programáticos se encontrarem relacionados com a área da GA, implicam, no seu cômputo geral, um número de horas muito superior de tempo de trabalho por parte dos estudantes, comparativamente aos outros casos observados.

A tabela 2.2. evidencia a síntese efetuada, segundo os critérios de seleção já enunciados, atendendo aos seguintes parâmetros: designação da UC, universidade e curso de licenciatura em que é lecionada, o ano curricular em que está inserida, se a duração é anual ou semestral e ainda se é de frequência obrigatória ou optativa.

No que se refere à questão da designação da UC, verificamos que existe grande convergência neste aspeto, uma vez que a quase totalidade dos casos analisados possui a denominação de "Geologia e/do Ambiente" ou "Geologia Ambiental". No que diz respeito às UC da Universidade de Coimbra e de Évora, esta designação é acoplada a um tema mais restrito como os "riscos naturais" ou

[5]Neste ponto, é de referir que não foi considerado o ciclo de estudos da Licenciatura em Geologia da Universidade de Lisboa, por requerer uma duração normal de 4 anos/8 semestres, no qual o tronco comum tem a duração inicial de 2 anos/4 semestres e após os quais se pode optar por diversos ramos/variantes/áreas de especialização, de acordo com o Despacho nº 9060/2016, de 14 de julho.

"ordenamento do território", respetivamente. Nesta tabela, optou-se por englobar também a UC de "Geodinâmica e Riscos Geológicos" da Universidade de Aveiro porque, apesar de a sua designação se distanciar um pouco das anteriormente referidas, o programa da disciplina partilha muitos pontos em comum com os restantes.

Em termos da quantidade de cursos de licenciatura que abrangem esta UC no seu plano de estudos, verifica-se que é na Universidade de Aveiro que se observa um maior número de cursos com a UC de GA obrigatória ao nível de licenciatura. No que diz respeito à diversidade de cursos, a GA é uma UC com expressão em pleno na área da Geologia, mas também interseta os planos das engenharias ligadas às geociências (Engenharia Geológica, na Universidade de Aveiro e Évora ou Engenharia de Minas e Geoambiente, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), bem como a área das ciências da terra e sociais (Geografia, na Universidade de Évora) e das ciências físicas da atmosfera, oceano e da terra (Meteorologia, Oceanografia e Geofísica, na Universidade de Aveiro). Esta versatilidade sublinha, por um lado, o caráter interdisciplinar inerente à GA e, por outro, a sua importância atual na formação de cidadãos críticos e cientificamente literatos face à resolução de problemas de índole ambiental.

Relativamente ao ano curricular, nenhum dos cursos prevê a frequência da UC antes do segundo ano da licenciatura, sendo que a quase totalidade dos cursos remete a GA para o último ano de licenciatura (à exceção dos cursos ministrados na Universidade de Aveiro e de CTA na FCUP). Esta situação pode indiciar uma diligência para que o estudante, em primeiro lugar, consolide os conhecimentos estruturantes no âmbito das geociências, contribuindo para uma perspetiva mais holística do sistema terrestre. Só após adquirir estes alicerces estará apto a compreender as repercussões a nível dos impactes de causa natural ou humana na sustentabilidade ambiental.

Tabela 2.2 – Descrição das UC relacionadas com GA no ensino superior público universitário em Portugal.

Instituição	Designação da Unidade Curricular	Curso Licenciatura	Ano Curricular	Anual/ Semestral (S1 ou S2)	Frequência Obrigatória/ Optativa
Universidade de Aveiro	Geodinâmica e Riscos Geológicos[6]	- Biologia e Geologia - Engenharia Geológica - Geologia - Meteorologia, Oceanografia e Geofísica	2º	S1	Obrigatória
Universidade de Coimbra	Geologia Ambiental e Riscos Naturais[7]	Geologia	3º	S2	Obrigatória
Universidade de Évora	Geologia de Ambiente e Ordenamento do Território[8]	- Geologia - Geografia - Engenharia Geológica	3º	S2 S1 ou S2 S2	Optativa
Universidade do Minho	Geologia Ambiental[9]	- Biologia e Geologia - Geologia -Ciências do Ambiente	3º	S2 S1 S1	Obrigatória
Universidade do Porto	Geologia e Ambiente[10] (FCUP)	- CTA - Geologia - Outros (*minors*)	2º 3º	S1	Obrigatória Optativa Optativa
	Geologia Ambiental[11] (FEUP)	Engenharia de Minas e Geoambiente	3º	S1	Obrigatória
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro	Geologia Ambiental[12]	Biologia e Geologia	3º	S1	Obrigatória

[6] https://www.ua.pt/uc/2431, consultado em dezembro 2017.

[7] https://apps.uc.pt/courses/PT/unit/8287/633/2018-2019?type=ram&id=350, consultado em dezembro 2017.

[8] http://www.estudar.uevora.pt/Oferta/licenciaturas/disciplinas/(curso)/176/(codigo)/GEO1835, consultado em dezembro 2017.

[9] https://www.uminho.pt/PT/ensino/oferta-educativa/_layouts/15/UMinho.PortalUM.UI/Pages/CatalogoCursoDetail.aspx?itemId=3300&catId=9, consultado em dezembro 2017.

[10] https://sigarra.up.pt/fcup/pt/ucurr_geral.ficha_uc_view?pv_ocorrencia_id=389743, consultado em dezembro 2017.

[11] https://sigarra.up.pt/feup/pt/ucurr_geral.ficha_uc_view?pv_ocorrencia_id=404315, consultado em dezembro 2017.

[12] https://dre.pt/application/file/a/114414925, consultado em dezembro 2017.

No que diz respeito ao tipo de regime de duração, todas as UC de GA expressas na tabela 2.2. são semestrais e a maioria concentra a UC no primeiro semestre letivo. Outro aspeto importante refere-se à obrigatoriedade (ou não) de frequência das UC aqui selecionadas. Na maior parte dos casos, a frequência da UC em questão é de caráter obrigatório, à exceção do caso dos cursos Geologia na Universidade do Porto e de Geologia, Geografia ou Engenharia Geológica da Universidade de Évora, onde esta opção integra um leque de variado de UC que será escolhido consoante o interesse dos estudantes do terceiro ano de licenciatura.

Segundo os dados disponíveis nos sites consultados, a metodologia utilizada assenta usualmente em aulas teóricas, complementadas com aulas de índole teórico-prática ou práticas (incluindo aulas laboratoriais, utilização de *software* específico ou visitas de campo), sendo também atribuído, um determinado número de horas para trabalho autónomo (que pode prever a orientação tutorial).

De um modo geral e, relativamente às competências previstas de aprendizagem nos diferentes cursos, expressos nas páginas eletrónicas das UC de GA, denota-se um grande enfoque no desenvolvimento da capacidade de aplicação de conhecimentos na resolução prática de problemas ambientais concretos, utilizando um raciocínio sistémico. Salienta-se ainda a tónica no incentivo à mobilização de conhecimentos de várias áreas científicas e promoção da aprendizagem ao longo da vida, essenciais para o trabalho em equipas multidisciplinares.

Na panóplia de temas que integram os conteúdos programáticos das UC de GA, apesar de algumas divergências, verifica-se a existência de linhas orientadoras comuns. Procedendo-se a uma análise sumária, são recorrentes as matérias relacionadas com o tipo de riscos e perigos associados à atividade sísmica, vulcânica, deslizamento de terras, inundações e erosão costeira; medidas de prevenção e mitigação de riscos geológicos; consequências da utilização dos recursos naturais, como os recursos minerais e hídricos; impactes ambientais causados pelo Homem, a nível do sistema Terra, nomeadamente a gestão dos resíduos resultantes da atividade de extração mineira, contaminação hídrica e dos solos e ainda alterações climáticas.

O perfil genérico que aqui foi apresentado relativamente ao modo como a GA é tratada nos planos de estudo do ensino público universitário a nível nacional, permite afirmar que existe um elevado grau de convergência em vários aspetos, particularmente, no ano curricular em que está inserida, o tipo de frequência requerido, o padrão de aulas implementado, os temas que integram os conteúdos programáticos e os resultados previstos de aprendizagem. Em suma, o enquadramento efetuado parece apontar para a consolidação da importância da UC de GA nos cursos de

geociências a nível nacional, no tocante ao primeiro ciclo de estudos. A implementação desta área científica no currículo de formação dos futuros profissionais vai ao encontro das diretrizes de organizações internacionais, ao fornecer aos estudantes um leque variado de ferramentas teóricas e práticas, suscetíveis de elevar os seus níveis de competências, no que se refere à compreensão da interação Homem-Ambiente, à busca de soluções de âmbito científico e social face ao número crescente de problemas ambientais e à promoção de boas práticas em termos de sustentabilidade para o século XXI.

2.3. A Geologia e Ambiente presente no estudo

Os seres humanos sempre tiveram de lidar com fenómenos naturais imprevisíveis – sismos, erupções vulcânicas, secas, inundações, desmoronamentos, furacões, entre outros. Na maior parte da história da humanidade, estes acontecimentos estavam para além do controlo humano: não foram causados por humanos e não havia muito que estes pudessem fazer para prever as suas ocorrências ou mitigar as suas consequências (McKinney & Schoch, 2003).

Os riscos naturais podem ser definidos, segundo Isidro e Huerta (2009), como uma "situação hipotética de danos sobre pessoas, bens ou serviços, provocados por um processo natural; ao passo que a catástrofe natural corresponde à materialização de algum dano significativo derivado da ocorrência de um processo natural" (p. 233). Na aceção dos mesmos autores, os riscos podem ser classificados em "naturais", "antrópicos" ou "induzidos" (também designados por "mistos", de acordo com Lourenço, 2007), sendo que estes resultam de causas combinadas entre os dois primeiros (Lourenço, 2007), ou seja, correspondem a um ponto intermédio no qual tanto a ação da natureza como do ser humano pode desencadear ou agravar uma determinada situação (Isidro & Huerta, 2009). Lourenço (2007) exemplifica este caso com o risco de erosão que pode advir da interação do ser humano com processos morfogenéticos.

Seguindo a classificação de Isidro e Huerta (2009), os riscos naturais incluem os riscos geológicos (sempre que o processo geológico que intervém é considerado dominante em relação a outros que ocorram) que, por sua vez, podem ter duas origens: interna (em consequência da dinâmica interna da Terra, como, por exemplo, o risco vulcânico ou o risco sísmico) e externa (em consequência da dinâmica externa da Terra como, por exemplo, os movimentos de vertente ou uma cheia). Por sua vez,

o "perigo" corresponde ao processo que dá lugar à situação de risco e que avalia a tipologia, magnitude e intensidade do processo em termos de probabilidade de ocorrência de danos. No meio académico e científico têm sido realizados estudos a fim de se distinguir uma utilização inequívoca entre os termos "*hazard*" e "*risk*" (Castro, Peixoto & Rio, 2005; Souza & Lourenço, 2015), pois, na língua portuguesa, há alguma tendência em usar "risco" e "perigo" como sinónimos, devido a traduções indistintas da língua inglesa em relação aos dois conceitos. Contudo, o termo "risco" na área das geociências é mais empregue para "uma situação de perigo ou dano ao homem e às suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processo geológico, induzido ou não" (Zuquette & Nakazawa, 1998, citado em Castro, Peixoto & Rio, 2005, p. 15). A classificação de um fenómeno como sendo de "risco" preenche dois requisitos: uma população socialmente vulnerável e a localização dessa população junto a áreas frágeis sob o ponto de vista físico (Souza & Lourenço, 2015). Saliente-se que uma população pode estar sob risco, mas não em perigo, se os processos não se manifestarem ou se o fizerem de modo ténue (Souza & Lourenço, 2015). Nesta perspetiva mais restrita, o perigo é só um dos elementos que constitui o risco (Figura 2.3). A avaliação do risco inclui questões sociais e económicas, para além dos fatores científicos na consideração do perigo (Murck et al., 1996).

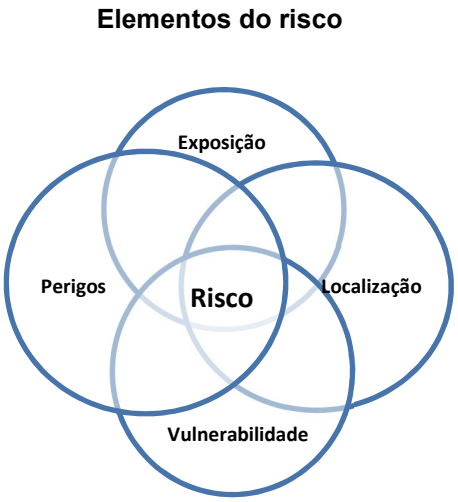


Figura 2.3. – Os elementos do risco. A avaliação do risco envolve o estabelecimento da probabilidade e caracterização dos efeitos físicos dos perigos naturais, assim como a incorporação de aspetos sociais e económicos como a localização, a exposição aos efeitos e a vulnerabilidade (adaptado de Murck et al., 1996, p. 64).

Pode ser ainda traçada uma analogia entre os componentes do risco e a situação apresentada na figura 2.4. Repare-se que não há risco se não houver

exposição ou se não houver perigo. Mas existe vulnerabilidade (o grau de perda face a um hipotético impacto) mesmo que não haja perigo e pode haver perigo mesmo que não haja exposição.

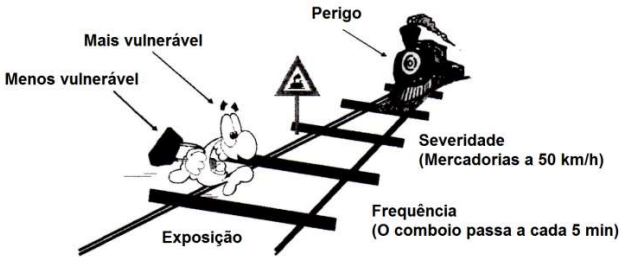


Figura 2.4. – Exemplificação de uma situação de "risco". O perigo é o comboio (expresso no sinal), que é caracterizado pelo tipo, severidade (expressa pela velocidade), frequência, etc. A exposição corresponde aos que estão sob a possível influência do perigo, neste caso, aquele que se encontra na linha de comboio (adaptado de Isidro & Huerta, 2009, p. 234).

As erupções vulcânicas e os sismos são riscos naturais geológicos (Merrits et al., 1998) causados por processos que têm lugar a grandes profundidades na crusta e manto, relacionados com a geodinâmica interna. As erupções vulcânicas são geralmente acompanhadas pelo menos por sismos pequenos a moderados, mas sismos de grande magnitude podem ocorrer na ausência de atividade vulcânica. Os sismos e os vulcões estão associados aos limites das placas tectónicas, mas os sismos e menos frequentemente os vulcões, também podem ocorrer no meio das placas; de facto, nenhum sítio na superfície da Terra é imune à atividade sísmica. Os sismos, tal como as erupções vulcânicas são fenómenos geológicos que os seres humanos podem eventualmente prever, mas nunca controlar com sucesso, considerando o conhecimento científico existente na atualidade (McKinney & Schoch, 2003; Merrits et al., 1998).

Tal como referido anteriormente, há algum acordo entre os peritos de que alguns tipos de fenómenos têm uma grande componente antropogénica. Por exemplo, os riscos geológicos em vertentes, associados aos movimentos de massa, podem ser agravados pela ação humana (Merrits et al., 1998), devido à desflorestação ou construção de edifícios em regiões montanhosas acidentadas. E, à medida que a população humana aumenta, as consequências causadas por catástrofes periódicas são mais elevadas (McKinney & Schoch, 2003).

A exploração e utilização dos recursos naturais, como os recursos minerais ou hídricos, também causam grandes consequências a nível ambiental. Retomando a classificação dos tipos de riscos atrás exposta, podemos considerar a exploração mineira como fazendo parte dos riscos antrópicos, mais concretamente a nível tecnológico. Tal como Lourenço (2007) afirma, para além de o dano resultar da ação humana, observa-se

> "o desrespeito pelas normas de segurança e pelos princípios que regem a produção, o transporte e o armazenamento de certos produtos, ou que envolvem o seu manuseamento ou uso de determinada tecnologia, dentro do necessário equilíbrio que deverá existir entre a comunidade e o ambiente". (p. 13)

No caso da exploração mineira, que engloba muitas fases, desde a exploração, ao transporte e consumo, podem ocorrer impactes ambientais e produção de resíduos em qualquer uma das etapas mencionadas (Murck et al., 1996). As escombreiras de minas abandonadas, que resultam diretamente da ação humana sobre o ambiente, têm efeito imediato na qualidade da água, do ar e do solo.

Os riscos associados a catástrofes naturais influenciam a qualidade de vida das populações e, sobretudo, a sua segurança. A relação Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente está, pois, bem patente neste aspeto. A identificação e o conhecimento detalhado dos riscos decorrentes das atividades vulcânica e sísmica, por exemplo, são fundamentais para a adoção de estratégias e medidas adequadas de prevenção e mitigação. Nesse sentido, é necessário conhecer os pressupostos científicos inerentes aos fenómenos naturais para avaliar os problemas atuais e antecipar os futuros.

Para o presente estudo, a nível científico, há quatro temas centrais que importa abordar: (1) vulcanologia e prevenção do risco vulcânico, tomando como o exemplo o caso da ilha do Corvo (Açores); (2) avaliação, previsão e prevenção de sismos, tendo por referência o sismo de Loma Prieta, na Califórnia, EUA, em 1989; (3) abandono mineiro e dispersão de contaminantes em meio hídrico, com particular ênfase no caso do abandono da mina de Terramonte, Castelo de Paiva e (4) a estabilidade das zonas de vertente, focando-se o caso do deslizamento de terras em Maierato, Itália, em 2010.

2.3.1. Vulcanologia e prevenção do risco vulcânico

Segundo Merritts e colaboradores (1998), os vulcões constituem aberturas para o interior do planeta e a sua localização é geralmente coincidente com os limites das placas litosféricas, sendo que 80% se situam no Anel de Fogo do Pacífico, caracterizado por extensas zonas de colisão entre placas litosféricas; os restantes localizam-se, sobretudo, nas zonas de divergência entre placas. As erupções vulcânicas são um dos fenómenos mais fascinantes do planeta, apesar de estarem associadas à morte de milhares de pessoas e à destruição de muitas infraestruturas.

Mesmo com a tecnologia e conhecimento científico modernos, prever uma erupção vulcânica é extremamente complicado; por outro lado, a energia libertada durante um fenómeno geológico desta dimensão é tão massiva, que dificilmente os métodos de engenharia a conseguem controlar (McKinney & Schoch, 2003; Merritts et al., 1998). Apesar de sabermos onde localizar os vulcões relativamente às placas litosféricas e possamos geralmente determinar se um vulcão está ativo ou adormecido (com base no tempo ocorrido desde a última erupção histórica), não podemos prever exatamente a ocorrência e a intensidade das erupções (McKinney & Schoch, 2003). Não obstante, os vulcanólogos trabalham sobretudo em dois sentidos: na monitorização do vulcanismo ativo e no estudo dos testemunhos e depósitos das erupções passadas (Merritts et al., 1998).

Em termos de fenómenos precursores da atividade vulcânica, que podem auxiliar na previsão de uma eventual erupção, os investigadores usam geralmente as mesmas técnicas empregues para prever os sismos: a monitorização da deformação dos flancos do vulcão, bem como a aplicação de parâmetros geomagnéticos e geoelétricos (McKinney & Schoch, 2003). Qualquer comportamento anómalo, como uma mudança na atividade sísmica ou mudanças na composição dos gases vulcânicos pode eventualmente significar uma erupção iminente (McKinney & Schoch, 2003; Merritts et al., 1998). Já foram realizadas previsões com sucesso, em 1980, na erupção do Monte de Santa Helena, nos EUA e, onze anos mais tarde, no Monte Pinatubo, nas Filipinas, permitindo salvar milhares de pessoas (Merritts et al.,1998). Segundo os autores atrás referidos, foi o estudo dos depósitos vulcânicos na década de setenta do século XX, que permitiu aos cientistas americanos concluir que o vulcão do Monte de Santa Helena iria entrar em erupção antes do final desse século. Murck e colaboradores (1996) recordam que foi com o auxílio do *U.S.Geological Survey* que foi possível a evacuação de quase sessenta mil pessoas antes da erupção fatídica do Monte Pinatubo.

Existe uma preocupação efetiva quanto às questões associadas ao vulcanismo: saber quando será a próxima erupção, qual a sua dimensão e os seus efeitos. Nessa eventualidade, os decisores políticos quererão saber quando evacuar as populações, como fazê-lo, onde as colocar e quanto tempo as manterão nos locais para onde vão ser deslocadas (Francis & Oppenheimer, 2004).

Os riscos vulcânicos podem estar associados a processos variados como, por exemplo: fluxos de lava de baixa viscosidade, erupções violentas, nuvens ardentes, emissões de gases venenosos, *lahars*, fluxos piroclásticos, inundações, tsunamis e efeitos atmosféricos (Gomez & Carlos, 1988; Murck et al., 1996). A identificação dos

riscos da atividade vulcânica encerra duas perspetivas: reconhecimento dos perigos vulcânicos a que uma área está exposta e identificação dos elementos vulneráveis (Sigurdsson et al., 2000). Para Francis e Oppenheimer (2004), nesta equação de cálculo de risco, a vulnerabilidade é influenciada por fatores de ordem social, económica e ecológica; assim sendo, este fator, largamente dependente de questões políticas e de desenvolvimento socioeconómico, afeta sobretudo as comunidades mais desfavorecidas.

A vulnerabilidade pode ser descrita como o grau médio de perda, expresso numa escala de 0 a 1, dos elementos expostos ao perigo – por exemplo, pessoas, edifícios, agricultura e outras atividades económicas (Sigurdsson et al., 2000). Deste modo, podem apontar-se os seguintes fatores que contribuem para o aumento da vulnerabilidade dos elementos, como por exemplo:

(i) Localizações em áreas marginais e potencialmente perigosas, tais como planícies aluviais, onde *lahars*, fluxos piroclásticos, fluxos de lava e disseminação de CO_2 podem ocorrer;
(ii) Áreas densamente povoadas com edifícios residenciais antigos, deficientemente mantidos, ilegalmente alterados ou expandidos, edificados segundo padrões inadequados, ou substancialmente sobrelotados;
(iii) Construção ou *design* de má qualidade;
(iv) Localização adjacente a complexos industriais onde podem ocorrer emissões potencialmente perigosas (Sigurdsson et al., 2000, p. 1217).

Assim, um vulcão numa área despovoada representa um certo perigo, mas o seu risco é quase inócuo para a população e infraestruturas. Quanto mais próximas as populações se estabelecerem perto do vulcão, o risco aumenta proporcionalmente. A observação sistemática, monitorização e estudo da história do vulcão pode ajudar a compreender a dimensão do perigo (Sigurdsson et al., 2000).

Porém, a redução do risco tem sido caracterizada por várias abordagens. A abordagem mais aceite perspetiva como válida a intervenção científica e tecnológica, ou seja, podem ser desenvolvidas soluções de engenharia e as pessoas em risco avisadas de forma atempada (Francis & Oppenheimer, 2004). De acordo com estes autores, existem algumas soluções de engenharia que podem ajudar na redução da vulnerabilidade e, por consequência, do risco, como a construção de telhados de inclinação íngreme, para prevenir a acumulação excessiva de cinzas vulcânicas.

A redução do risco pode incluir tanto a mitigação, correspondente a medidas estruturais e não estruturais tomadas para limitar o impacto adverso dos perigos, como a prevenção, através de atividades para evitar o impacto adverso dos riscos. Segundo Merritts e colaboradores (1998), os mapas de risco vulcânico são o melhor meio para

minimizar os riscos associados à atividade vulcânica pois, conforme defendem Francis e Oppenheimer (2004), facultam informação sobre os planos de ordenamento do território e regulamentos que visam limitar o desenvolvimento em áreas de risco. O mapa de risco vulcânico consiste na avaliação e expressão gráfica dos fenómenos que podem esperar-se de uma erupção vulcânica e seus efeitos previsíveis sobre o meio ambiente, sobretudo sobre a população, baseando-se na análise detalhada histórica do comportamento do vulcão e tendo em conta a topografia, rede de drenagem, população e infraestruturas da zona circundante (Gomez & Carlos, 1988). Os mapas de risco vulcânico também ajudam a identificar percursos de evacuação bem como edifícios que necessitam de proteção (tais como hospitais) porque necessitam de estar operacionais em tempo de crise. Também importantes para consideração são os edifícios como escolas, sítios históricos e museus. Neste aspeto, é importante sublinhar o papel da engenharia sísmica devido à prevenção das consequências de sismos de origem vulcânica (Francis & Oppenheimer, 2004). A partir dos mapas traçados, segundo Sigurdsson e colaboradores (2000), podem ser feitas comparações visuais facilitadas a várias distâncias, alturas ou setores em torno do vulcão, expressando os níveis diferentes de risco ou perigo em várias classes, como baixo, médio ou alto.

Tal como defendido por Bennett e Doyle (1997), o envolvimento na gestão dos riscos deve ser proativo e não reativo, orientando-se de acordo com os seguintes objetivos (Sigurdsson et al., 2000):

1. Minimizar o risco de perdas de vida devido a colapso de estruturas ou danos durante uma erupção;
2. Facilitar um sistema apropriado de aviso e evacuação;
3. Proteger áreas de cultivo ou outras áreas de atividade económica significativa;
4. Melhorar o desempenho esperado de estruturas e linhas de vida
5. Melhorar a capacidade funcional de estruturas e linhas de vida que são essenciais à recuperação durante e após uma erupção. (p. 1216)

Assim, a gestão do risco para os perigos vulcânicos deve ser multidisciplinar e envolver uma vasta gama de instituições e profissionais, desde o setor público, empresas, setor agrícola até a organizações internacionais (Sigurdsson et al., 2000), para que diferentes perspetivas possam trabalhar no sentido de uma eficaz proteção das populações.

O caso da ilha do Corvo, nos Açores

De acordo com Madeira (2010, 2011), em Portugal, só os arquipélagos dos Açores e da Madeira estão sujeitos ao risco vulcânico, com maior ênfase no primeiro caso. Na Madeira, a atividade vulcânica é apenas considerada dormente e não extinta devido a estudos anteriormente efetuados.

O arquipélago dos Açores, situado no Oceano Atlântico, é um conjunto de nove ilhas localizadas na junção entre a placa Norte-Americana, Euroasiática e Africana. Devido a esta localização geográfica particular, algumas das ilhas são afetadas por atividade sísmica e vulcânica (Coutinho et al., 2009). A ilha do Corvo, pertencente ao grupo ocidental, é a mais pequena do arquipélago, atingindo uma altitude máxima de 720 m, e ocupando uma área de 17 km^2 (Coutinho et al., 2009), estando situada, juntamente com a ilha das Flores, na placa Norte Americana, a oeste da Crista Média-Atlântica (França, Cruz, Nunes & Forjaz, 2005), conforme visível na Figura 2.5.

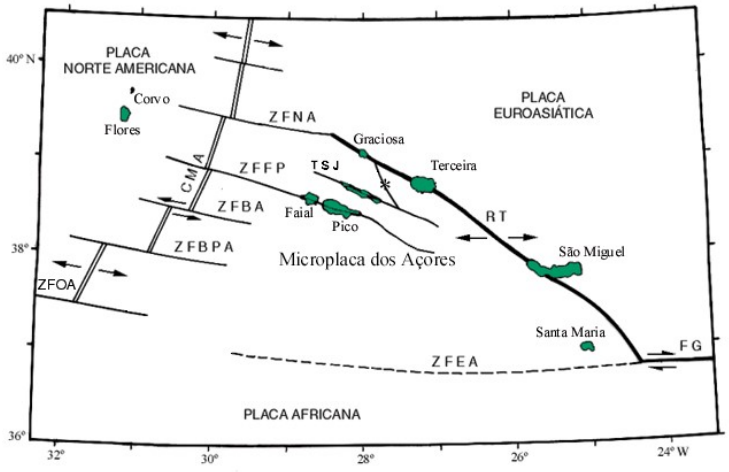


Figura 2.5. – Principais acidentes tectónicos nos Açores. CMA - Crista Média-Atlântica, FG – Falha Glória; RT – Rifte da Terceira; TSJ – Transformante de São Jorge; ZFBA – Zona de Fratura Banco Açor; ZFBPA – Zona de Fratura Banco Princesa Alice; ZFEA – Zona de Fratura Este dos Açores; ZFFP – Zona de Fratura Faial–Pico; ZFNA – Zona de Fratura Norte dos Açores; ZFOA – Zona de Fratura Oeste dos Açores (Nunes, 1999, extraído de França et al., 2005, p.5).

A atividade dos vulcões açorianos, após a descoberta e povoamento das ilhas no século XV, manifestou-se em cinco das suas ilhas. Existem registos de vinte e sete erupções históricas, sendo as mais recentes as ocorridas no Faial (Capelinhos, 1957-58) e no sistema vulcânico submarino da crista da Serreta, junto à ilha Terceira, entre 1998 e 2000 (Coutinho et al., 2009). A Figura 2.6 ilustra esta historicidade de erupções.

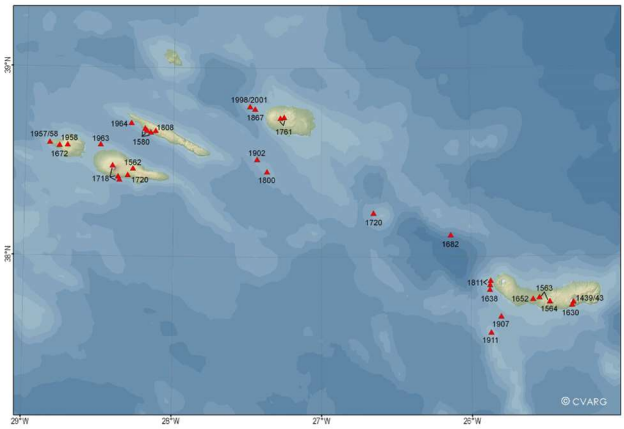


Figura 2.6. – Atividade vulcânica registada nos Açores, desde o início do seu povoamento, no século XV (extraído de **http://www.cvarg.azores.gov.pt/Cvarg/CentroVulcanologia/geologiaacores/GA+-+Vulcanismo+Historico.htm**, consultado em fevereiro 2011).

De acordo com a informação disponibilizada pelo site eletrónico do Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos da Universidade dos Açores, existem vinte e seis sistemas vulcânicos ativos nos Açores (sendo oito submarinos). O vulcão do Corvo compreende a totalidade emersa da ilha com o mesmo nome, e corresponde a um vulcão com caldeira, denominada Caldeirão. Este vulcão é considerado "ativo" pelo mesmo Observatório, sugerindo uma atividade recente, mas não sendo certo que a mesma tenha ocorrido há menos de dez mil anos. Em termos históricos, de acordo com Dias (2007), não há qualquer registo documental de erupções aí ocorridas.

Coutinho e colaboradores (2009), num estudo realizado, consideram que o crescente desenvolvimento socioeconómico que as ilhas açorianas registam, conduziu a uma maior pressão nas zonas costeiras e, devido à vulnerabilidade sísmica e vulcânica, é fundamental a avaliação dos riscos e aplicação de metodologias de mitigação dos riscos, desenvolvimento sustentável e ordenamento do território. Assim, nesse sentido, é necessário realizar uma análise de risco vulcânico, através do seu mapeamento, tendo em consideração os materiais que constituem a ilha do Corvo (Dias, 2007). Para este autor, apesar de existirem várias metodologias para o efeito, é possível elaborar, de forma expedita, uma carta de risco vulcânico da ilha do Corvo recorrendo à sobreposição de uma carta de declives (resultante da análise da topografia da área) e de uma carta de coerência litológica (resultante da separação entre os vários tipos de litologias conforme a sua coerência). Na mesma linha de pensamento, desta sobreposição resultará a delimitação de áreas com diferentes graus de risco vulcânico associado, propondo-se o estabelecimento de seis classes de risco vulcânico, nas quais:

- Uma classe de Risco Vulcânico Máximo (corresponde à conjugação de áreas com declive superior a 20% e litologias incoerentes);

- Quatro classes de Risco Vulcânico Intermédio (com valores intermediários entre os extremos);

- Uma classe com Risco Vulcânico Mínimo (corresponde à conjugação de áreas com declive inferior a 10% e litologias coerentes).

A construção de mapas de risco vulcânico, ou de qualquer outro tipo de risco, insere-se num dos domínios de ação da GA, requerendo paralelamente uma maior compreensão do ambiente geológico, assim como uma consciencialização no sentido de uma atitude proativa relativamente aos fenómenos de riscos vulcânicos, tendo em consideração as consequências socioeconómicas e ambientais decorrentes da sua forte imprevisibilidade.

2.3.2. Sismos – avaliação, previsão e prevenção

Os maiores sismos demonstram que a Terra é um planeta dinâmico, um sistema em mudança. É do conhecimento geral que os sismos correspondem a uma libertação de tensão acumulada na litosfera (Montgomery, 1995), mas esta ideia apenas foi documentada pela primeira vez através estudos efetuados na Falha de Santo André, na Califórnia, antes e após o sismo que assolou São Francisco, em 1906 (Shearer, 1999). Assim, durante os trabalhos de campo que se iniciaram em 1874, sismólogos americanos determinaram a posição de pontos precisos situados a várias distâncias da falha, verificando-se uma mudança radical do alinhamento dos pontos após o sismo de 1906 (Murck et al., 1996), tal como pode ser visualizado na Figura 2.7.

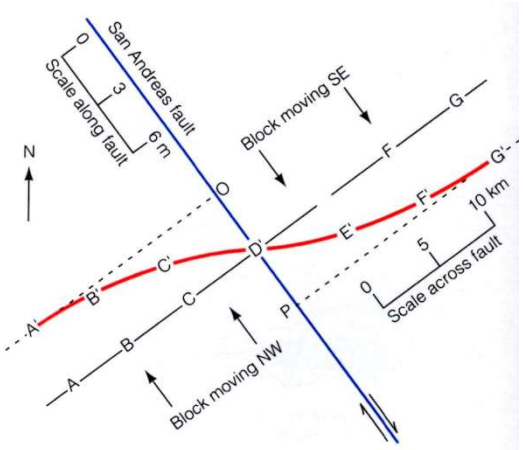


Figura 2.7 – Resultados da pesquisa efetuada antes e após o sismo de 1906, na falha de Santo André. Os pontos de A a G estavam originalmente alinhados. Lentamente, a linha foi sendo dobrada para a posição A'-G'. De repente, as rochas fraturaram e sofreram um deslocamento ao longo do plano de falha, passado os pontos de pesquisa a estarem posicionados segundo A'O e PG' (extraído e adaptado de Murck et al., 1996, p. 72)

Os resultados obtidos estiveram na base da elaboração do denominado "modelo do ressalto elástico", que constitui atualmente o principal pressuposto para a maior parte dos sismos ocorridos de origem tectónica (Shearer, 1999). O modelo anteriormente referido baseia-se na assunção, em primeiro lugar, da deformação elástica das rochas da crusta terrestre, quando sujeitas a tensões ao longo do tempo (Murck et al., 1996). Ultrapassado o seu limite de elasticidade, as rochas fraturam de modo frágil, libertando a energia armazenada e sofrendo uma deslocação ao longo do plano de falha. Esta energia sísmica é transmitida sob a forma de ondas sísmicas, que são essencialmente ondas de choque que se originam quando dois blocos de rocha subitamente se movem, separados por uma zona de falha, levando à vibração dos materiais terrestres (McKinney & Schoch, 2003; Merritts et al., 1998). O ponto no plano da falha no qual tem origem a libertação de energia é designado de "hipocentro ou foco" e aquele que se situa diretamente acima do hipocentro, à superfície, denomina-se "epicentro" (Merritts et al., 1998).

Atendendo ao levantamento histórico publicado por Udías (1999), os primeiros registos escritos de sismos remontam a civilizações antigas como a chinesa, grega ou romana. O termo "sismicidade" foi provavelmente usado pela primeira vez por Montessus de Ballore, em 1906, para descrever a distribuição de sismos e das suas características numa determinada região (Udías, 1999).

A sismologia é considerada uma ciência recente, dado que o seu estudo quantitativo é realizado desde há aproximadamente cem anos, altura em que foram implementadas as estações sismográficas e da descoberta de que os sismos não ocorriam de forma aleatória, mas sobretudo ao longo de determinadas cinturas ou fronteiras tectónicas (Shearer, 1999). Existem três regiões a nível mundial cuja atividade sísmica é mais frequente: (1) a mais ativa corresponde às margens do oceano Pacífico (estendendo-se desde as ilhas Aleutas ao sul do Chile e desde a península de Kamchatka na Ásia até à Nova Zelândia); (2) também há a considerar a região Mediterrâneo – Alpes – Himalaias, bem como (3) as dorsais oceânicas dos limites de placas oceânicas, nomeadamente a dorsal média atlântica e a dorsal do Pacífico oriental (Udías, 1999).

O estudo de grandes sismos históricos sugere que estes se comportam como uma série temporal de eventos pontuais, dado que a acumulação de tensão numa área particular, a uma taxa constante, irá atingir um valor crítico e conduz à libertação de energia, numa certa área de falha, em intervalos mais ou menos regulares (Montgomery, 1995; Udías, 1999). Este processo de acumulação e libertação de tensão pela ocorrência de um sismo, seguido por um período breve de réplicas que

reflete ajustes litosféricos menores, constitui um ciclo sísmico (Montgomery, 1995; Udías, 1999), tal como demonstra a Figura 2.8. De salientar que também existem casos em que não há uma regularidade no que se refere ao tipo de sismo ou período de ocorrência, o que é um comportamento típico de sistemas dinâmicos não lineares, nos quais a sismicidade é caótica (Shearer, 1999).

As primeiras determinações da localização do epicentro de um sismo eram baseadas em informações relativamente a danos em construções humanas ou pela existência de fendas no solo e outros efeitos – determinação macrossísmica do epicentro. No entanto, este tipo de estudo não é equivalente à determinação instrumental baseada no tempo de chegada das ondas sísmicas, principalmente P ou ondas sísmicas primárias e S, ou ondas sísmicas secundárias (Udías, 1999), o que pode ser ilustrado através do gráfico da Figura 2.9.

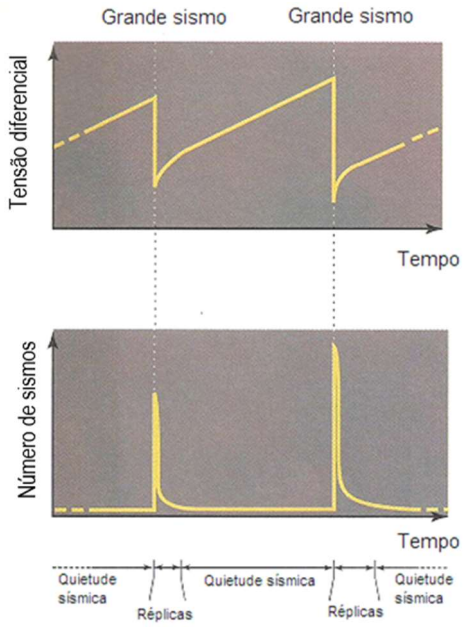


Figura 2.8 – O conceito de "ciclo sísmico" (adaptado de Montgomery, 1999, p. 76).

Após a determinação da distância ao epicentro, este pode ser localizado geograficamente num mapa, recorrendo ao método de triangulação. Traçam-se três circunferências utilizando os valores de distância ao epicentro (convertidos à escala do mapa) e em cujo centro se situa cada uma das estações sismográficas (Montgomery, 1995), como é exemplificado na Figura 2.10.

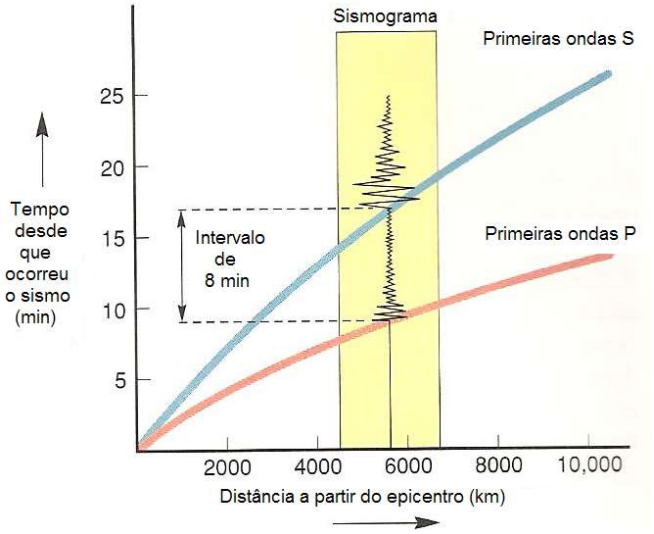


Figura 2.9 – Diferença nos tempos de chegada das ondas P e S em função da distância ao epicentro. O sismograma tem uma diferença de chegada de 8 minutos; o sismo ocorreu a cerca de 5 500 km de distância (adaptado de Montgomery, 1995, p. 67).

Os arcos das circunferências podem não se cruzar num ponto único, mas a sua interseção resultar na definição de uma pequena área (Figura 2.11), devido aos erros inerentes à determinação dos tempos de chegada das ondas sísmicas (Udías, 1999).

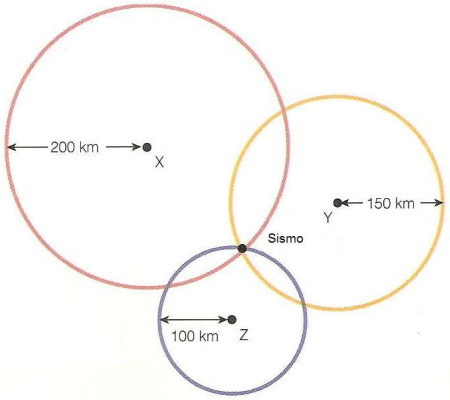


Figura 2.10 – Localização do epicentro do sismo utilizando os dados de várias estações sísmicas (adaptado de Montgomery, 1995, p. 67).

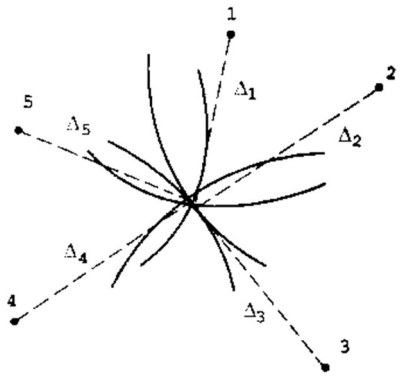


Figura 2.11 – Localização do epicentro a partir da interseção das distâncias epicentrais de cinco estações sísmicas (extraído de Udías, 1999, p. 278).

De acordo com Merritts e colaboradores (1998), a avaliação de um sismo pode ser realizada através de diferentes escalas, como a Escala de Intensidades Modificada de Mercalli, ou a Escala de Magnitude de Richter. A Escala de Mercalli, composta por doze graus, expressos em numeração romana, foi desenvolvida por Giuseppe Mercalli em 1902, tendo sido mais tarde reajustada, sendo baseada no efeito que um sismo tem nas construções humanas e nos testemunhos da população no local. A escala de magnitude foi elaborada por Charles F. Richter, no início do século XX, e baseia-se na amplitude das ondas sísmicas registadas por sismógrafos (McKinney & Schoch, 2003).

A leitura efetuada é ajustada para a distância entre o sismógrafo e o epicentro do sismo, de tal modo que diferentes estações sismográficas em diferentes locais do globo deverão chegar ao mesmo valor aproximado de magnitude (Montgomery, 1995). A magnitude é relevante porque se relaciona com a energia total libertada pelo sismo (Machado, 1970). A escala de Richter é uma escala logarítmica - logo, sob o ponto de vista teórico, não tem um limite máximo, apesar de os maiores sismos até hoje registados terem ultrapassado ligeiramente o valor 9,0 de magnitude (McKinney & Schoch, 2003). Cada unidade de diferença no número da escala corresponde a um aumento de dez vezes na amplitude das ondas sísmicas (por exemplo, um sismo que atinja 7,0 de magnitude é caracterizado por ondas sísmicas com uma amplitude cem vezes maior do que um sismo que atinja 5,0 de magnitude). Enquanto a intensidade está dependente de fatores como a distância ao epicentro ou a natureza dos materiais atravessados pelas ondas sísmicas, repercutindo-se em diferentes valores para um mesmo sismo, como a energia libertada é sempre a mesma, a magnitude assume apenas um valor, independentemente da distância ao epicentro (McKinney & Schoch, 2003).

A previsão sísmica tem raízes históricas, e é um dos objetivos dos sismólogos, que, usufruindo da atual tecnologia avançada utilizada na monitorização de zonas sísmicas ativas, conseguem fazer previsões de sucesso a longo prazo, com intervalos temporais de anos ou décadas (Murck et al., 1996; Udías, 1999). A maior parte destes estudos centra-se na avaliação do risco sísmico de uma região o que, de acordo com Udías (1999), não é equivalente a uma verdadeira previsão. Segundo o mesmo autor, uma previsão a curto prazo inclui especificar a localização, tempo e magnitude de um sismo iminente entre intervalos reduzidos, com um elevado grau de probabilidade e com tempo suficiente de avanço para que determinadas medidas para reduzir os seus efeitos possam ser tomadas. Há registo de um caso de sucesso em 1975, no qual um sismo foi calculado com cinco horas antes da sua ocorrência perto de Haicheng, no nordeste da China. A antevisão foi realizada com base em conjuntos de pequenos abalos premonitórios, uma rápida deformação do solo algumas horas antes do choque principal e flutuações no campo magnético, o que permitiu salvar mais de um milhão de pessoas, apesar de algumas centenas de vítimas (Murck et al., 1996; Press & Siever, 1998). Contudo, a maior parte dos sismos é inconsistente em relação aos seus fenómenos precursores e, em consequência, a previsão a curto prazo não se tem revelado bem-sucedida (Murck et al., 1996)

Na sua obra "*Principles of Seismology*", Udías (1999) entende que sendo a previsão sísmica baseada em fenómenos precursores da atividade sísmica, de

natureza física, estes devem excluir, por exemplo, o comportamento animal, por não ser possível de quantificar este parâmetro, apesar de outros autores, como é o caso de Murck e colaboradores (1996), apontarem a sua possibilidade de inclusão.

Um precursor sísmico baseia-se observação de padrões de sismicidade numa região com variações no tempo e no espaço, o que pode ser realizado através do estudo da paleossismologia ou das lacunas sísmicas (Murck et al., 1996; Udías 1999). No caso do estudo da paleossismologia, esta recorre a informação de atividade sísmica pré-histórica. Neste âmbito, Cabral (2010, 2011) defende que a investigação paleossismológica de falhas ativas fornece informações sobre "paleo-eventos produzidos pela falha em estudo e reconhecíveis no registo geológico, a sua idade e magnitude, bem como o tempo decorrido desde o último evento", o que permite "abarcar o ciclo sísmico de eventos com recorrências longas, avaliar o potencial sismogénico das falhas presentes, nomeadamente no que respeita à magnitude dos sismos que têm capacidade de gerar, e introduzir memória no modelo de probabilidade de ocorrência" (p. 15).

Por outro lado, os estudos efetuados permitiram a identificação de "lacunas sísmicas", áreas onde devido a acumulações contínuas de energia devido a tensões tectónicas, a sismicidade registada é abaixo da média, durante um determinado tempo, que geralmente precede um grande terramoto (Murck et al., 1996). A "lacuna sísmica" é considerada o lugar mais provável para um sismo de grande magnitude ter lugar no futuro, dependendo do tamanho da lacuna sísmica e da duração da falta de atividade sísmica (Udías, 1999). Todavia, o efeito oposto, uma alteração na taxa de ocorrência de pequenos abalos também pode ser sinónimo da ocorrência de um sismo maior. Um outro precursor sísmico é a mudança da velocidade das ondas sísmicas na região do foco, tendo sido observado que a velocidade das ondas internas que atravessam o hipocentro diminui antes de um grande terramoto (Udías, 1999).

Existem outros fenómenos cujo estudo também pode auxiliar na previsão de sismos e que têm vindo a ser alvo de monitorização, tais como: níveis de água nos poços, inclinação do terreno, deformação nas rochas, a resistividade elétrica do solo, campos eletromagnéticos, a emissão de gás radão e os abalos premonitórios (Bennett & Doyle, 1997; Press & Siever, 1998; Udías, 1999).

Uma vez que a previsão de sismos não é exata, deve-se investir na mitigação ou na prevenção de uma grande parte dos danos que um sismo poderá causar (Udías, 1999). De facto, os sismos não provocam vítimas *per se*, os edifícios vulneráveis que colapsam é que o fazem (Francis & Oppenheimer, 2004; Udías, 1999). Deve existir um trabalho de equipas interdisciplinares no sentido de criar um planeamento adequado

em termos antissísmicos, o qual deve refletir uma análise sobre a densidade populacional, a localização de falhas sísmicas, o tipo construção de mais resistente face ao material geológico que a suporta e o estudo paleossísmico da região (Merritts et al., 1998). A educação ou formação da população no que se refere ao cumprimento de regras antes, durante e após um sismo também deverá ser acautelada, de modo a minimizar os danos em caso de sismo. Údias (1999) compara o exemplo do sismo de Loma Prieta, em 1989, de magnitude 7,0 que terá causado sessenta e duas vítimas mortais enquanto o sismo que abalou Latur, em 1993, na Índia, mesmo sendo de magnitude inferior (6,3), vitimou onze mil pessoas. Ou seja, uma boa avaliação do risco sísmico e uma construção antissísmica adequada pode evitar o colapso de edifícios e diminuir drasticamente o número de vítimas humanas (Montgomery, 1995; Udías, 1999). No entanto, Bennett e Doyle (1997) salientam que previsões imprecisas ou falsas podem ter consequências negativas: se forem repetidas sem haver concretização do anunciado, perde-se a confiança das populações; por outro lado, devido à própria incerteza da previsão, podem ocorrer impactos socioeconómicos negativos de grande dimensão (como o caso que ocorreu no Perú em 1980, no qual um aviso de sismo que não se chegou a concretizar acarretou perdas económicas assinaláveis).

Em síntese, a previsão, prevenção ou mitigação dos riscos sísmicos encerram aspetos complexos que têm de ser continuamente estudados e ponderados, sobretudo pelas implicações a nível da sociedade e do ambiente, dado que o modo de atuação ou resposta nem sempre é unívoco.

O caso do sismo de Loma Prieta, na Califórnia, em 1989

O sismo de Loma Prieta teve origem numa secção da falha de Santo André, a 17 outubro de 1989, causando a morte de mais de sessenta pessoas nas áreas de Santa Cruz e da Baía de São Francisco, na Califórnia (Merritts et al., 1998; Montgomery, 1995). A Falha de Santo André, considerada a falha dominante num conjunto complexo de falhas (Figura 2.12), está situada num enquadramento geotectónico particular, de fronteira transformante, entre a placa do Pacífico e a Placa Norte-Americana (Shearer, 1999).

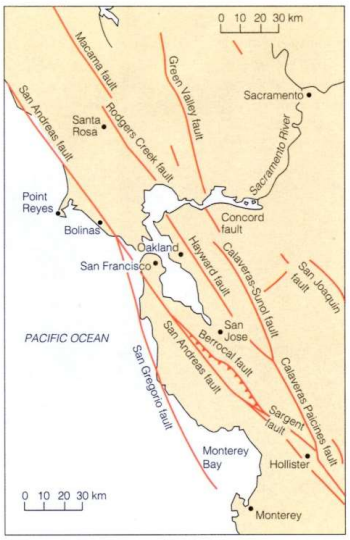


Figura 2.12 – Falhas existentes na região de São Francisco, ilustrando a complexidade do conjunto (extraído de Murck et al., 1996, p. 93).

Os focos sísmicos que ocorrem ao longo deste tipo de falhas tendem a ser superficiais e originam sismos de elevada magnitude (Murck et al., 1996).

Segundo Montgomery (1995), a probabilidade da ocorrência do sismo de Loma Prieta já tinha sido projetada um ano antes, pelo "*U. S. Geological Survey's Working Group on California Earthquake Probabilities*" que, nessa altura, avançou com a hipótese de a secção em causa ter uma probabilidade de rutura de 30% no período de 30 anos compreendido entre 1988 e 2018 – Figura 2.13.

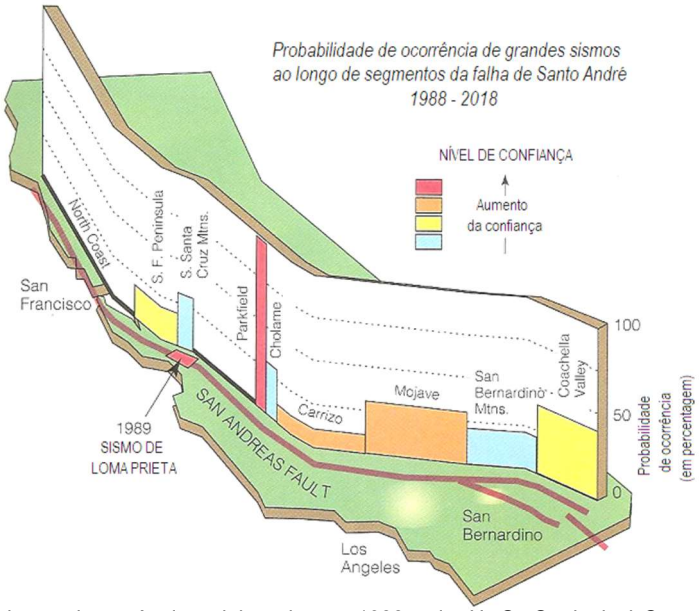


Figura 2.13 – Mapa de previsão sísmica elaborado em 1988 pelo *U. S. Geological Survey's Working Group on California Earthquake Probabilities*. A altura das barras indica a probabilidade estimada de um sismo de magnitude 6,5-7 no período 1988-2018; a cor das barras indica o nível de confiança na estimativa (adaptado de Montgomery, 1995).

Para essa previsão, o grupo de investigadores anteriormente referido analisou a distribuição repetitiva da sismicidade ao longo da falha de Santo André. Atendendo a

Bennett e Doyle (1997), perante os dados obtidos, estabeleceram-se (i) segmentos de falha bloqueados (*locked*), nos quais a tensão se acumulava devido à falta de movimento e (ii) rastejantes (*creeping*), com deslizamento contínuo e baixa vibração. O primeiro caso descrito corresponde às denominadas "lacunas sísmicas", que são locais prováveis de ocorrência de sismos futuros, à medida que a tensão aumenta, tal como sucedeu na zona de Loma Prieta (Figura 2.14).

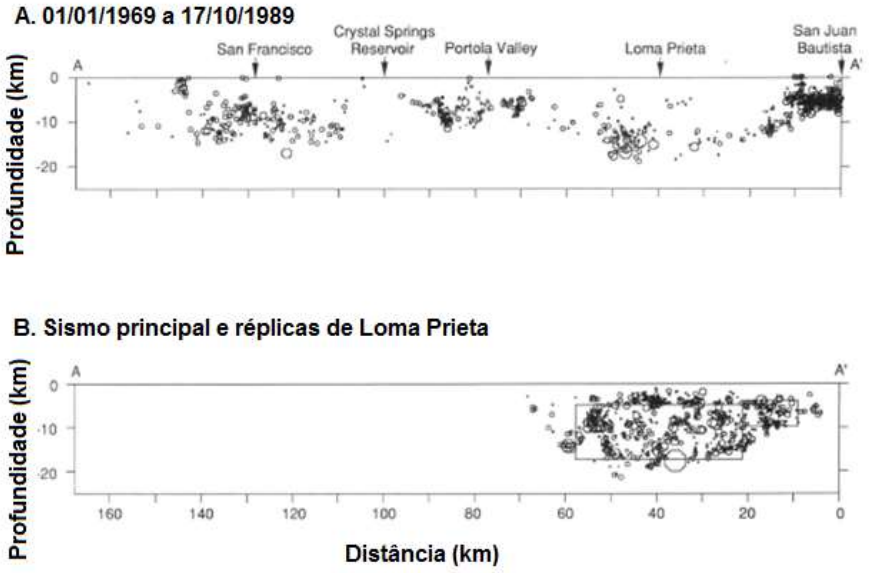


Figura 2.14. – Sismicidade ao longo da Falha de Santo André entre 1969-89. A – sismicidade antes do sismo de Loma Prieta e B – sismo principal e réplicas do sismo de Loma Prieta. O diâmetro dos círculos é proporcional à magnitude dos sismos (adaptado de U. S. Geological Survey's Working Group on California Earthquake Probabilities, 1990, p. 10).

A engenharia de estruturas e a investigação geocientífica, que investem na melhoria da resistência dos edifícios em relação aos sismos, tiveram um papel decisivo na redução do número de vítimas do sismo de Loma Prieta (Murck et al., 1996). Contudo, tendo em consideração que o epicentro se situou a cerca de setenta e cinco quilómetros a sudoeste da cidade de São Francisco, verificaram-se consequências muito devastadoras em locais como a "Bay Bridge" (Figura 2.15) e a "Nimitz Freeway – Interstate 880" (Figura 2.16), onde ocorreu a morte de dois terços das vítimas registadas, dado que o colapso de parte do viaduto teve consequências devastadoras nos veículos que transitavam em cima e abaixo desta estrutura (Merritts et al., 1998; Murck et al., 1996).

Os problemas verificados com as construções referidas estão relacionados com vários fatores, sendo um dos quais a desvalorização da importância dos materiais geológicos que podem aumentar o efeito de vibração das ondas sísmicas (Merritts et al., 1998; Murck et al., 1996).



Figura 2.15 - Vista aérea de secção colapsada da Bay Bridge, após o sismo de Loma Prieta (extraído de USGS http://gallery.usgs.gov/photos/mQHs38Vjj1_14, consultado em janeiro de 2011).



Figura 2.16 - Vista aérea da auto-estrada Nimitz após o sismo de Loma Prieta (extraído de USGS http://gallery.usgs.gov/photos/mQHs38Vjj1_17, consultado em janeiro de 2011).

Por exemplo, o tipo de formação geológica, como as aluviões, podem explicar, em parte, o colapso da Bay Bridge ou a existência de sedimentos finos, terão contribuído para a destruição da auto-estrada 880 Interstate (Murck et al., 1996), tal como ilustrado na Figura 2.17.

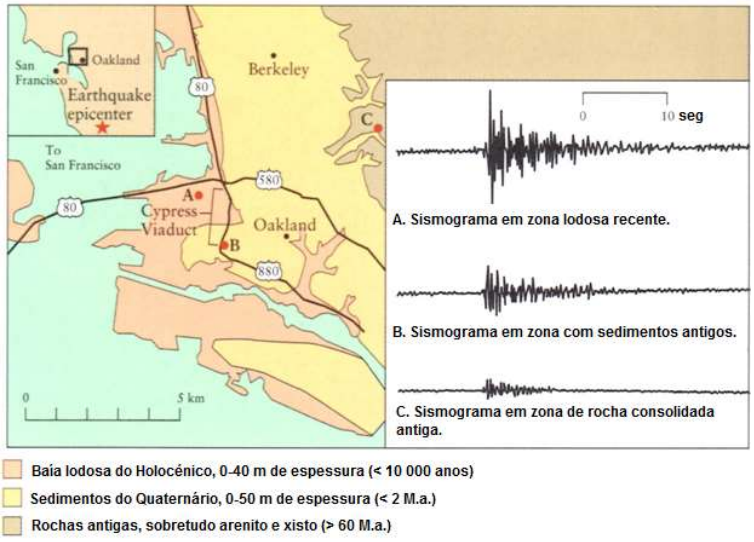


Figura 2.17 – Mapa geológico da região de São Francisco e sismogramas obtidos em diferentes tipos de materiais geológicos, numa das réplicas do sismo de Loma Prieta. A amplitude das ondas sísmicas, é menor em rochas consolidadas e antigas (C), comparativamente com as formações (A) e (B), pouco consolidadas e de idade mais recente (adaptado de Merritts et al., 1998, p. 152).

Neste sentido, os estudos dos registos sísmicos realizados durante as réplicas de Loma Prieta, mostram maior amplitude das ondas sísmicas em zonas de sedimentos não consolidados, lodos ou aluviões, o que denota a sua influência nas

repercussões dos estragos causados durante o sismo. Este desfasamento em relação à vibração verificada em rocha consolidada terá sido responsável por 70% das consequências ou perdas durante o abalo sísmico (Murck et al., 1996). A Figura 2.17 ilustra um mapa geológico em que foi assinalada a rota da autoestrada 880 Interstate, no qual foram marcados os pontos A e B, delimitando a extensão ao longo da qual foram observados danos nas infraestruturas. Note-se que parte dos alicerces se situa em zonas lodosas, de sedimentos pouco consolidados, pertencentes ao Holocénico ou em sedimentos do Quaternário pouco consolidados. Durante uma das réplicas do sismo de Loma Prieta, foram obtidos os sismogramas patentes na Figura 2.17., que permitem inferir sobre o agravamento das consequências de um sismo decorrente da maior amplitude das ondas sísmicas, em virtude da sua propagação em sedimentos pouco consolidados e de idade recente.

Atendendo a Merritts e colaboradores (1998), os mapas geológicos são fulcrais para a avaliação dos riscos sísmicos, pois permitem estabelecer as fronteiras entre depósitos e rochas diferentes e inferir a localização de falhas. Contudo, a avaliação da componente geológica não é suficiente para prevenir os danos de um sismo. No caso de Loma Prieta, procedeu-se igualmente a uma comparação entre os estragos provocados pelo sismo na 880 Interstate e na Bay Bridge, em relação a outras edificações que demonstraram maior capacidade de resistência (Murck et al., 1996), como se encontra esquematizado na Figura 2.18.

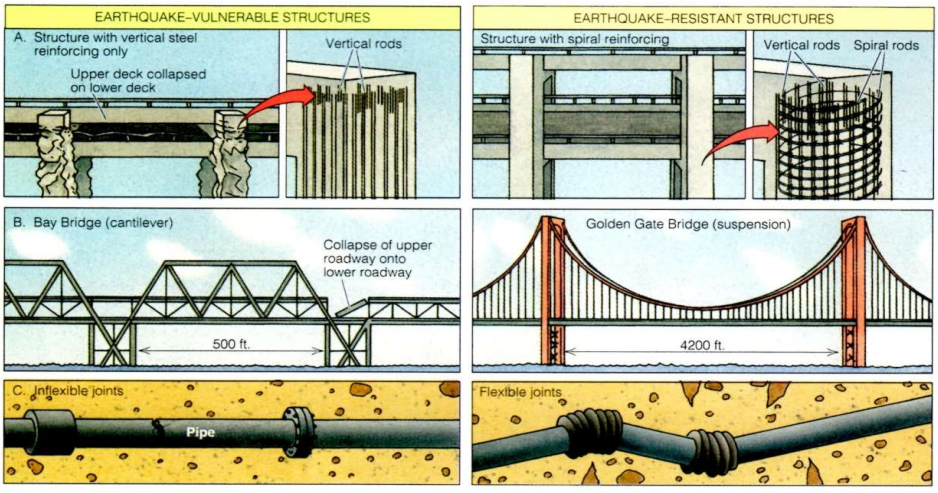


Figura 2.18 – Comparação entre a resistência demonstrada durante o sismo de Loma Prieta em função do tipo de construção e *design* de diferentes infraestruturas (extraído de Murck et al., 1996, p. 85).

Esta investigação chegou à conclusão que as colunas de cimento que suportavam a autoestrada, possuíam no seu interior apenas hastes de aço verticais e não apresentavam hastes de reforço em forma de espiral. Uma parte da Bay Bridge,

que pertence ao tipo “ponte balanço” e é inflexível, acabou por colapsar durante o sismo, enquanto a Golden Gate Bridge, “ponte suspensa”, segura por cabos de aço, não acusou estragos. Para além disso, as junções flexíveis dos tubos de gás e de água, também resistiram aos abalos, ao contrário das inflexíveis – Figura 2.18 (Murck et al., 1996).

No caso do sismo de Loma Prieta, para além das condições geológicas locais, outros fatores contribuíram para os riscos decorrentes do sismo em análise, como por exemplo: fenómeno de liquefação (uma vez que o abalo e a perturbação dos sedimentos saturados de água, levou à separação das partículas que compõe o solo que passa a comportar-se como um fluído, diminuindo a sua resistência), movimentos de vertente e ruturas no solo (Murck et al., 1996). Os incêndios também foram uma das consequências indiretas do sismo, afetando toda a zona da Baía de São Francisco (à semelhança do que já tinha ocorrido em 1906).

O exemplo de Loma Prieta é paradigmático em GA no que diz respeito aos perigos e riscos inerentes a um sismo, uma vez que a compreensão deste fenómeno pode ajudar a diminuir o número de vítimas e de estragos causados, investindo no ordenamento do território, respeitando e aplicando as normas de construção antissísmica, face à incerteza da previsão sísmica.

2.3.3. Abandono mineiro e dispersão de contaminantes em meio hídrico

A atividade mineira pertence ao setor primário de atividade económica e é indispensável às sociedades industrializadas, ao extrair recursos da crosta terrestre com valor económico que constituem uma fonte de matérias-primas para o fabrico de instrumentos tecnológicos, máquinas ou utensílios, entre outras aplicações (EDM & DGEG, 2011; Gonçalves, 2010, 2011; Murck et al., 1996). A forma como os minérios ocorrem na Natureza condiciona o tipo de extração mineira envolvido (que envolve muitas etapas), assim como o custo e a quantidade de resíduos produzidos - Figura 2.19. Por exemplo, no caso do cobre, é necessária geralmente uma tonelada de minério para extrair 20 kg concentrado de cobre (Murck et al., 1996). O tipo de extração também tem repercussões a nível do impacte ambiental gerado, estando as questões chave deste problema relacionadas com os seguintes aspetos: gestão dos resíduos e estéreis; contaminação do solo, água e ar; combustão subterrânea; poluição visual e sonora; desflorestação para a construção de estradas e edifícios; subsidência ou colapso das infraestruturas da mina (resultantes da remoção subterrânea de material geológico) e a recuperação ambiental mineira (Bennett &

Doyle, 1997; Murck et al., 1996). Para além disso, apesar da área total do planeta sujeita à exploração mineira ser relativamente pequena, o seu impacte é global, pois os elementos que ocorrem em concentrações circunscritas na litosfera são mobilizados e libertados para outros sistemas terrestres, sobretudo a atmosfera ou a hidrosfera, afetando vastas áreas (Merritts et al., 1998). Dentre os elementos provenientes da atividade mineira que mais afetam os subsistemas terrestres encontram-se o mercúrio, o chumbo, o arsénio e o crómio. Os autores anteriormente referidos apontam o exemplo do mercúrio como paradigma. Este metal, utilizado desde os tempos mais remotos como auxiliador na extração de outros (como por exemplo, o ouro) é altamente venenoso e tem a capacidade de integrar os ciclos biogeoquímicos, contribuindo para os fenómenos de bioacumulação e bioampliação, podendo a sua ação culminar em afeções graves do sistema nervoso central nos seres humanos. O processo de fundição e de trituração também pode emitir outros poluentes, como os óxidos de azoto e de enxofre e compostos orgânicos voláteis para a atmosfera, a menos que sejam captados por equipamentos de controlo (Murck et al., 1996). Por outro lado, durante os mesmos processos, também podem ser gerados efluentes líquidos contendo uma grande variedade de metais (como o arsénio, cádmio ou ferro) ou reagentes químicos (como o ácido sulfúrico), devido à capacidade de mobilidade destes em solução aquosa nas águas drenadas das minas (Murck et al., 1996).

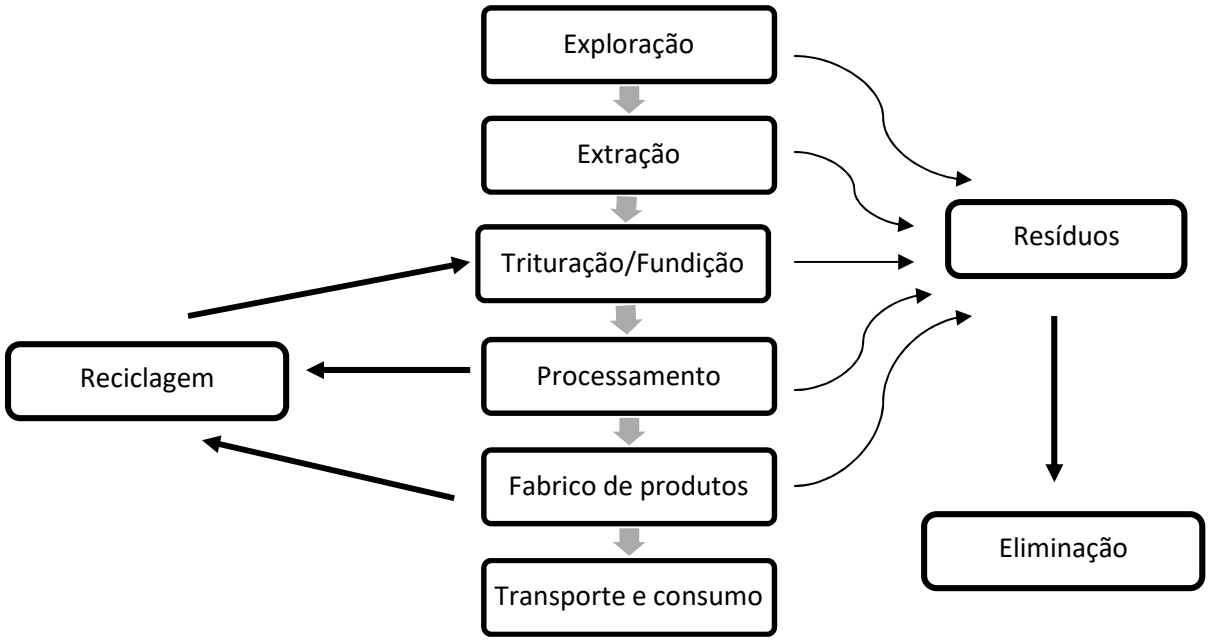


Figura 2.19 – O ciclo dos recursos, ilustrando as etapas envolvidas na exploração, processamento, uso e eliminação dos recursos e a potencial geração de resíduos em cada fase (adaptado de Murck et al., 1996, p. 343).

Depois do minério ser extraído, triturado e separado, acumulam-se massas significativas de materiais rochosos soltos e rejeitados (estéreis), sob a forma de

escombreiras, que passam a estar sujeitos à oxidação pela atmosfera e à lixiviação pelas águas pluviais (Gonçalves, 2010, 2011). O armazenamento de estéreis, rejeitados e outros materiais eliminados é um dos impactes mais significativos da mineração, em termos de área afetada (Murck et al., 1996). Não obstante, Oliveira e colaboradores (2002) distinguem diferentes tipos de impactes causados pelos tipos de materiais constituintes das escombreiras ao longo do tempo: as escombreiras de materiais finos ou granulometria baixa são responsáveis por um maior impacte químico inicial que se vai atenuando à medida que o tempo passa, enquanto as escombreiras de materiais grosseiros, são comparativamente menos poluentes de início, mas causam consequências mais duradouras. Por seu turno, Bennett e Doyle (1997) alertam para o facto de a falta de vegetação nas escombreiras, especialmente de materiais finos, contribuir para a fácil erosão eólica e sobretudo hídrica destes amontoados de resíduos mineiros. Existem dois problemas associados a esta situação: (i) a turbidez dos efluentes, ou seja, abundância de sedimentos em suspensão e (ii) as drenagens ácidas, nomeadamente resultantes da exploração de sulfuretos, como a pirite (que apresentam baixo potencial de oxirredução e mais facilmente se transformam em compostos oxidados), cujos valores de pH podem ser inferiores a 2 ou até atingirem valores negativos por ação bacteriana (Bennett & Doyle, 1997; Gonçalves, 2010, 2011; Oliveira et al., 2002;). Sob tais condições ácidas, os metais constituintes dos minerais entram muito facilmente em solução, levando a concentrações elevadas nas águas. O Fe^{3+}, por outro lado, é insolúvel mas mantém-se em solução coloidal, dando a característica cor vermelha escura às águas de drenagem ácida (Gonçalves, 2010, 2011). Segundo a EDM e DGEG (2011), na publicação “A Herança das Minas Abandonadas”, este é um problema típico associado em Portugal à Faixa Piritosa Ibérica, devido à exploração de sulfuretos polimetálicos, com repercussões em zonas distantes das minas, dado o facto adicional de as rochas serem relativamente impermeáveis aos metais em solução transportados nas escorrências de origem mineira. Atendendo a Gonçalves (2011, 2012) as situações mais graves de contaminação de água derivam do abandono de minas, onde pode eventualmente verificar-se a descarga direta de efluentes para as linhas de água, como também a poluição de águas subterrâneas pois “com o alagamento progressivo das galerias, o nível freático restabelece-se a cotas próximas das originais, pelo que as captações existentes na área envolvente podem ficar contaminadas” (p. 134). Assim sendo, pode recorrer-se ao Índice de Geoacumulação (I_{geo}) proposto por Müller, em 1979, para tentar determinar o grau de dispersão de poluição num efluente ou linha de água de forma objetiva (Araújo, 2010). Esta medida avalia o grau de

contaminação de uma amostra (calculado em função do valor de concentração de metais nos sedimentos da região comparativamente ao valor padrão de fundo geoquímico a nível geral) e permite agrupar os resultados obtidos de I_{geo} em sete classes, de acordo com o seu grau de poluição, tal como é expresso na tabela 2.1 (Araújo, 2010).

Tabela 2.3 – Classificação dos índices de Geoacumulação e graus de poluição correspondentes.

Grau de poluição	I_{geo}	Classes
Não Poluídos	<0	0
Não poluídos a moderadamente poluídos	0-1	1
Moderadamente poluídos	2-3	2
Moderadamente a muito poluídos	3-4	3
Muito poluídos	4-5	4
Muito poluídos a extremamente poluídos	5-6	5
Extremamente poluídos	>5	6

(Adaptado de Araújo, 2010, p. 76).

Este índice pode ser utilizado posteriormente para a determinação de classes de risco ambiental e construção de mapas de risco ambiental de contaminação por metais tóxicos, como no estudo realizado por Trindade, Horn e Ribeiro (2012).

Como as drenagens ácidas podem ser devastadoras para os ecossistemas circundantes e potenciar elevados riscos ambientais, tenta-se estabelecer um circuito fechado, ou seja, em explorações mais modernas as águas são geralmente tratadas até serem libertadas no meio ambiente e quaisquer efluentes são cuidadosamente monitorizados (Murck et al., 1996). De acordo com Gonçalves (2011, 2012) os processos mitigadores de drenagem ácida podem focar-se na sua neutralização, através da aplicação de carbonatos ou estruturação de zonas pantanosas ricas em matéria orgânica.

Apesar da vertente positiva no que diz respeito aos benefícios socioeconómicos, os recursos utilizados na indústria extrativa são considerados não renováveis à escala humana e estão desigualmente distribuídos geograficamente, pelo que o legado mineiro deve ser compatível com um desenvolvimento sustentável (EDM & DGEG, 2011; Murck et al., 1996). Esta pretensão pode ser alcançada minimizando os impactes ambientais causados durante o processo extrativo ou quando a mina finda a sua laboração e as áreas mineiras têm de ser recuperadas (Gonçalves, 2010/2011).

A reabilitação dos impactes ambientais negativos decorrentes da atividade mineira herdada do passado é atualmente uma prioridade, dado que a sua laboração foi muitas vezes efetuada sem a devida cautela em termos ecológicos, pelo que, no

que concerne à contaminação das águas, existem três focos principais de ação (EDM & DGEG, 2011):

> (1) proceder ao desvio das águas limpas, provenientes do exterior da área mineira, de modo a evitar que estas entrem em contacto com quaisquer resíduos, sejam eles da extração do minério ou do seu tratamento;
> (2) criar bacias de retenção/tratamento para águas contaminadas, quer elas sejam provenientes do fundo da mina ou de escorrências através de materiais depositados na área mineira, de modo a evitar a contaminação de aquíferos, linhas de água, solos e sedimentos;
> (3) proceder à inundação de solos mineiros, criando condições anóxicas que evitem a progressiva oxidação dos sulfuretos contidos nas rochas encaixantes e no minério. (p. 97)

A GA ao integrar-se num leque abrangente de domínios geocientíficos que estão relacionados com a sustentabilidade da exploração mineira, pode participar na implementação de diversas estratégias fundamentais tendo em conta o equilíbrio dos ecossistemas, como por exemplo: o desenvolvimento de tecnologias de recuperação ou eliminação de produtos e elementos químicos das escombreiras; avaliação do impacte da bioacumulação na cadeia alimentar; revegetação para minimizar a erosão, a lixiviação e a mobilização de contaminantes para as linhas de água; reutilização das escombreiras, por exemplo, para projetos de engenharia civil (Bennett & Doyle, 1997; Oliveira, 1997 citado em Caetano & Dimuccio, 2003).

O caso da dispersão de contaminantes da escombreira do complexo mineiro de Terramonte

O complexo mineiro de Terramonte fica situado na zona Centro-Ibérica do Maciço Ibérico, estando a sua mineralização característica de Ag-Pb-Zn inserida no núcleo do Anticlinal de Valongo (Araújo, 2010; Oliveira et al., 2002). O filão explorado encontra-se encaixado em xistos e a sua formação está associada à ocorrência da Orogenia Varisca (Araújo, 2010).

Historicamente, o início da laboração da mina de Terramonte situa-se no século XIX e o seu apogeu, de exploração de chumbo, zinco e prata, centrou-se nas décadas de sessenta e setenta do século XX (Rodrigues & Dias, 2010). A exploração deixou de ocorrer por volta de 1973 e, após o seu abandono, foram acumuladas toneladas de resíduos em escombreiras, uma das quais no vale da Ribeira da Castanheira que, na década de oitenta, devido ao colapso de um dos muros de sustentação, acabaram por ser arrastados até ao rio Douro (Rodrigues & Dias, 2010).

Assim, a água que atravessava a zona mineira contaminada, deixava de estar apta para consumo humano ou agrícola (EDM & DGEG, 2011).

Na inventariação realizada por Oliveira e colaboradores (2002) sobre o passivo mineiro nacional, concernente à primeira fase do "Projeto de Avaliação de Riscos Ambientais para Reabilitação de Minas Abandonadas", lançado em 1998 pelo IGM, a mina abandonada de Terramonte foi avaliada com uma classificação de grau 4 de perigosidade (a mais elevada numa escala de quatro graus) após cálculo ponderado de fatores intrínsecos (como a segurança, a química das águas, o impacte visual e paisagístico, entre outros) e fatores ambientais extrínsecos (como a existência de aglomerados populacionais ou a atividade piscícola existente na região). No estudo em questão o grau de perigosidade mais elevado (4) foi atribuído a mais onze áreas mineiras degradadas, para além de Terramonte, num universo de oitenta e cinco minas investigadas. Oliveira e colaboradores (2002) sugeriram que se atribuísse "alguma prioridade" ao caso de Terramonte, através de medidas de reabilitação como a "contenção e/ou remoção das escombreiras, retenção e tratamento de águas, ações disciplinadoras sobre a exploração de inertes, vedação e proteção de trabalhos mineiros, etc." (p. 83). Num estudo posterior, realizado em parceria pela EDM e DGEG (2011) sobre o legado mineiro, Terramonte fazia parte de uma lista de 175 minas de minérios polimetálicos abandonadas em território português.

Após implementação do projeto ambiental de recuperação, as obras na área de Terramonte terminaram em 2009, tendo como alvo o reperfilamento das escombreiras – Figura 2.20, desvio de águas pluviais (devido ao impacte dos efluentes de escorrência e de fundo da mina) e a integração paisagística, através da criação de uma zona segura de observação da área mineira (Araújo, 2010; EDM & DGEG, 2011; Rodrigues & Dias, 2010;).



Figura 2.20 - Patim de observação na área mineira de Terramonte após modelação da escombreira. Vistas gerais da área mineira de Terramonte (extraído de EDM & DGEG, 2011, p. 162).

O impacte ambiental dos resíduos metálicos nos sedimentos e águas superficiais, provenientes da escombreira mineira de Terramonte, ao longo do leito da Ribeira da Castanheira, foi avaliado por Rodrigues e Dias (2010). De acordo com os resultados obtidos, foram encontradas concentrações anormalmente elevadas de zinco, chumbo e arsénio (entre outros elementos), comparativamente ao local de referência – Ribeiro das Fontainhas, o que aponta para a poluição da Ribeira da Castanheira sobretudo devido à dispersão e contaminação pelos elementos químicos referidos, sinónimo de uma recuperação ambiental ainda não totalmente conseguida.

Os estudos posteriores, realizados por Araújo (2010) e Soares (2014), baseados em análises geoquímicas de concentração dos sedimentos de corrente e amostras da escombreira, verificaram, de um modo geral, uma redução nos teores em análise, mas ainda insuficientes para considerar que a intervenção efetuada de recuperação ambiental foi plenamente alcançada.

O caso de Terramonte é elucidativo quanto ao desequilíbrio gerado entre o benefício da exploração mineira sob o ponto de vista socioeconómico e o passivo ambiental associado ao legado mineiro, particularmente no que concerne aos desafios decorrentes da contaminação das linhas de água e seus efeitos no ecossistema. Este testemunho de uma exploração passada não sustentável, cujas consequências ainda não foram totalmente remediadas, mostra a importância do pensar sistémico realçado pela Geologia Ambiental, nomeadamente no que se refere às boas práticas de gestão dos recursos naturais e à necessidade de implementar um plano de exploração e recuperação mineiras consentâneo com a preservação do meio ambiente e orientado a longo prazo para promover a qualidade de vida das populações.

2.3.4. Estabilidade das zonas de vertente

De acordo com Ferreira (1997), o risco geomorfológico é de grande importância no que se refere aos processos de evolução do relevo terrestre e suas consequências socioeconómicas para a população, rivalizando com o risco sísmico e climático relativamente a eventuais danos que possam ser causados. A erosão fluvial, costeira e de vertentes enquadra-se no tipo de risco geomorfológico e, no que diz respeito ao último caso, a sua evolução pode ocorrer devido à erosão hídrica ou por meio dos designados “movimentos de massa” (*landslides*). Ainda segundo o mesmo autor, estes fenómenos correspondem a “movimentos de sólidos ao longo das vertentes, induzidos pela ação da gravidade e não assistidos por nenhum agente de transporte (tal como os glaciares, os cursos de água ou o vento)” (p.9), sendo que, de acordo com Highland

e Bobrowsky (2008), a componente sólida pode tratar-se de "solo, rocha ou materiais orgânicos" (p. 6). Para Ferreira (1997), os movimentos de massa podem ser divididos basicamente em três tipos: deslizamentos (*slides*), desabamentos (*falls*) e escoadas (*flows*). Contudo, há que referir que a classificação dos movimentos de massa pode ser bastante extensa e complexa, devido à quantidade de fatores implicados que caracterizam este processo, desde a variação nos mecanismos de rotura, da velocidade de desabamento ou litologias implicadas (Llorens & Masquef, 2009). Recentemente, os autores Hungr, Leroueil e Picarelli (2013) procederam a uma revisão de um dos sistemas de classificação mais conhecidos, desenvolvido por Varnes nos finais da década de setenta do século passado, tendo em consideração a evolução do conhecimento científico entretanto ocorrida sobre movimentos de massa e a terminologia geotécnica e geológica mais apropriada. Do seu estudo resultou a proposta de trinta e dois tipos de *landslides*, excluindo os de natureza complexa que poderiam resultar da combinação de duas ou mais designações.

Marques (2010, 2011) aponta que os movimentos de massa podem ocorrer em vertentes naturais ou taludes artificiais, envolvendo volumes de materiais de dimensões de várias ordens que, em casos extremos, podem causar inúmeras vítimas. O facto é que existe uma relação direta entre o aumento populacional e a ocupação de locais mais sujeitos a movimentos de terreno, sinónimo de maiores prejuízos potenciais em termos materiais e humanos (Murck et al., 1996).

Os fatores que estão na base dos movimentos de massa podem ser divididos em: (i) condicionantes, relacionados com a litologia do local, propriedades físicas, declive, contexto geomorfológico, entre outros fatores, que podem a longo prazo contribuir para a ocorrência dos movimentos; (ii) desencadeantes, de natureza geofísica, climática ou antrópica, como a aplicação de cargas estáticas ou dinâmicas (caso dos sismos), que interferem de um modo geralmente súbito com as condições de estabilidade das encostas, conduzindo à rotura (Ferreira 1997; Gijon, 1988; Marques, 2010, 2011).

Não obstante a velocidade a que o de movimento de massa ocorre, este é controlado em primeiro lugar pela gravidade, tendo a quantidade de água um papel também muito importante para a estabilidade da vertente (Murck et al., 1996). A força gravítica não varia de modo substancial à superfície do planeta Terra, mas a resistência dos materiais a essa força de gravidade pode variar, por exemplo, com o grau de inclinação das vertentes: quanto mais íngreme, mais provável é a ocorrência do movimento de massa (Merritts et al., 1998). Numa vertente inclinada, a força de gravidade pode ser separada em duas componentes: (i) componente perpendicular e

(ii) componente tangencial. Quanto mais íngreme é a vertente, maior o aumento da componente tangencial relativamente à componente perpendicular, sendo de 30 a 35º o valor do ângulo crítico que marca o início da instabilidade da vertente, em material seco e não consolidado como areia e cascalho (Merritts et al., 1998), como pode ser visualizado na Figura 2.21.

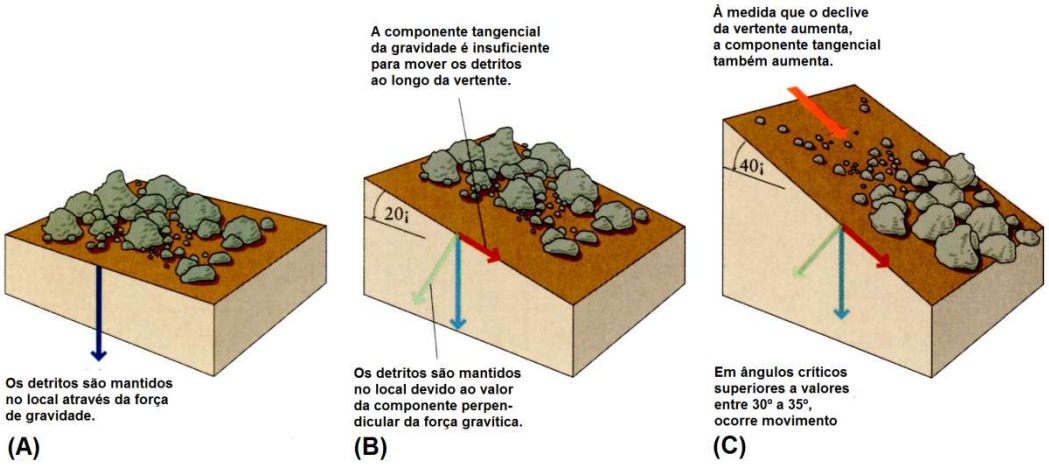


Figura 2.21 – O efeito do aumento do declive na resistência relativa de detritos (adaptado de Merritts et al., 1998, p. 184).

Contudo, o material pode permanecer praticamente imóvel durante muito tempo e a água ser o principal fator desencadeador da rotura, afigurando-se evidente a associação entre os períodos de intensa pluviosidade e a ocorrência de movimentos de vertente (Llorens & Masquef, 2009). Segundo Merritts e colaboradores (1998) os sedimentos não consolidados, como o silte, a argila ou areia, têm reações distintas consoante o conteúdo em água. As areias secas exibem um ângulo de repouso com declives de 32º a 34º, mas se for adicionada uma determinada quantidade de água, estabelece-se uma tensão superficial entre os grãos de areia e a água, aumentando o valor do ângulo de repouso; contudo, se a quantidade de água saturar os interstícios dos grãos de areia, estes deixam de ter contacto entre si e ocorre o desmoronamento (Figura 2.22).

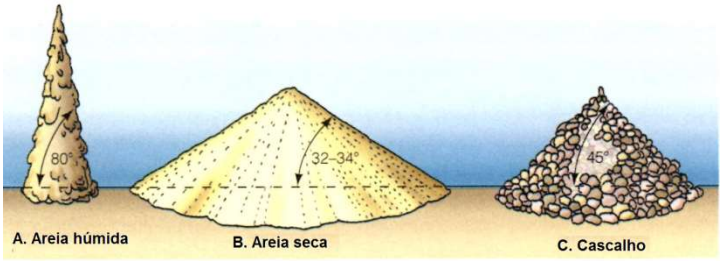


Figura 2.22 – Fatores que afetam o ângulo de repouso em materiais não consolidados: teor de humidade e grau de arredondamento das partículas. (A) A areia húmida pode ser empilhada de forma íngreme, com ângulo de repouso elevado. (B) A areia seca tem ângulos de repouso entre 32º a 34º. (C) O cascalho tem um ângulo de repouso intermédio entre os anteriores (adaptado de Murck et al., 1996, p. 156).

Para além dos fatores abordados, saliente-se que mesmo situações de declives moderados (entre 10º e 15º), os movimentos de vertente podem ocorrer mais facilmente devido a descontinuidades existentes nas rochas, como a xistosidade ou estratificação (Zêzere, Pereira & Morgado, 2006). Assim, o conhecimento aprofundado da geologia local e das características das vertentes, aliado a uma análise climática, poderá ser importante para a previsão de grandes movimentos de massa. A prevenção passará por um cuidadoso ordenamento do território e técnicas apropriadas de estabilização, que ajudem a reduzir perdas futuras (Murck et al., 1996).

O caso do movimento de massa em Maierato, na Itália

No dia 15 de Fevereiro de 2010, a sudoeste da cidade italiana de Maierato, na região da Calábria, ocorreu um movimento de massa (*landslide*) súbito e de grandes dimensões, que atingiu aproximadamente um quilómetro de comprimento por meio quilómetro de largura (Conte, Donato, Pugliese & Trocone, 2016). Apesar de não haver um sistema de monitorização desta área antes do movimento de massa, tinham sido detetadas deformações anormais do terreno e verificou-se uma precipitação contínua durante muito tempo (Guerricchio et al., 2012). As imagens, como a da Figura 2.23 e vídeos disponíveis na internet, que ilustram o movimento de massa ocorrido, desencadearam o interesse académico sobre o assunto.



Figura 2.23 – Movimento de massa ocorrido a sudoeste de Maierato, Itália, em fevereiro de 2010. (adaptado de *Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica*, http://www.irpi.cnr.it/en/project/iano-maierato-3862/, consultado em março 2013).

Hungr e colaboradores (2013) classificaram este tipo de movimento de vertente como deslizamento rotacional rochoso (*rock rotational slide/rock slump*), mas dada a elevada velocidade de deslocação atingida durante o auge do movimento de massa e a observação do comportamento superficial semelhante a escoada (*flow*), os autores citados também referem que é possível o seu enquadramento na categoria de escoadas de detritos/areias/siltes (*sand/silt/debris flowslide*).

A sequência estratigráfica da área em questão inclui litologias com permeabilidades variadas, desde a sua base mais profunda de natureza metamórfica (gnaisses erodidos do Paleozóico), passando sucessivamente por camadas de rochas sedimentares como arenitos, argilas margosas, calcários evaporíticos do Mioceno e terminando numa camada argilosa e arenosa do Plioceno, subjacente a depósitos continentais mais recentes (Conte et al., 2016). Os autores Hungr e colaboradores (2013) afirmam que esta vertente de rochas sedimentares, fraturou durante um sismo ocorrido em 1783, pelo que a pluviosidade abundante no início de 2010 terá reativado parte dos materiais mais instáveis. Assim, durante a queda de chuva prolongada que precedeu o movimento de massa em análise no século XXI, os níveis freáticos foram continuamente abastecidos e a drenagem feita pelas nascentes (*springs*) não foi suficiente, pelo que a pressão de água nos poros das rochas em profundidade aumentou criando uma menor resistência ao movimento, originando um grande fluxo de material encosta abaixo, que apenas provocou danos em bens materiais (Guerricchio et al., 2012).

Por outro lado, Conte e colaboradores (2016) fizeram uma comparação em relação à quantidade de pluviosidade ou precipitação acumulada (900 mm) em 168 dias (entre 1 setembro 2009 e 15 de fevereiro 2010), com as registadas nos períodos de tempo mais chuvosos de 168 dias consecutivos, desde 1919 a 2010 (Figura 2.24). Chegaram à conclusão que a quantidade de chuva que precedeu o fenómeno de deslizamento de 2010 não foi excecional: o valor de 900 mm foi ultrapassado em alguns dos anos anteriores e, quando o valor verificado foi o mesmo (anos 1939-1940 e 1944-1946), os autores adiantam que o grau de urbanização na área circundante de Maierato era menor, o que pode ter sido relevante para este processo. Para Conte e colaboradores (2016), o movimento de massa de Maierato ocorrido em 2010 simboliza a “instabilidade hidrogeológica na Calábria” (p. 199).

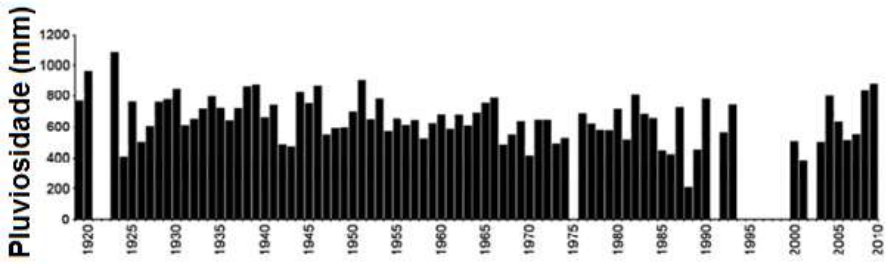


Figura 2.24 – Pluviosidade nos 168 dias mais chuvosos consecutivos de cada ano, entre 1919 a 2010 em Maierato (adaptado de Conte et al., 2016, p. 197).

Assim sendo, este acontecimento problematiza vários aspetos relacionados sobretudo com a geodinâmica externa do planeta, desde os fatores condicionantes aos fatores desencadeantes dos movimentos de massa, passando pela questão da

ocupação antrópica e riscos que daí advém para a integridade das populações. A Geologia Ambiental é parte integrante desta equação, ao aliar os conhecimentos interdisciplinares da Geografia (dados pluviométricos, mapas topográficos…), da Geologia (história geológica da região, mapas litológicos...) e da Engenharia (dados geotécnicos, construção de infraestruturas adequadas…), na procura de soluções globais que respondam de modo proativo, por exemplo, através da elaboração de mapas de suscetibilidade de ocorrência de movimentos ou contribuindo para a implementação de um ordenamento do território adequado.

Capítulo III

Conceção e implementação de um Programa de Intervenção

3.1. Fundamentação do Programa de Intervenção com a Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas

O Programa de Intervenção (PI) com recurso à ABRP, na UC de GA da FCUP, foi construído a partir dos pressupostos teóricos subjacentes aos capítulos I e II da presente tese. Assim sendo, o PI delineado partiu de várias ideias e evidências, tentando estabelecer um eixo transversal de sentido e continuidade entre o conhecimento científico disponível e a consecução de um estudo empírico que concretizasse as várias assunções teóricas estabelecidas.

É de aceitação generalizada que perante a quantidade substancial de informação disponível, o mais importante será saber aplicá-la em contextos significativos de modo efetivo e independente e não apenas proceder à sua memorização (Allen & Tanner, 2003; Majoor & Aarts, 2010; Morgado, 2009). Daqui resulta que as práticas tradicionais de educação já não são compatíveis com a sociedade contemporânea (Pereira & Marques, 2014), que exige competências diferenciadas dos estudantes a nível profissional, pessoal e social (Morgado, 2009), frequentemente referidas em documentos de relevo para nações de todo o mundo (vide capítulo I). Estes desafios afetam o ensino superior, uma vez que é a este primordialmente alocado o monopólio da produção, mediação e divulgação de novo conhecimento, mas onde as questões de natureza pedagógico-didática parecem assumir menor relevo (Morgado, 2009; Pereira & Marques, 2014). Não obstante, segundo Lopes e Menezes (2016), perante as reconfigurações introduzidas pelo Processo de Bolonha no ensino superior em Portugal, exige-se uma mudança efetiva de paradigma pois, tendo em conta os dados recolhidos pelas autoras, essa mudança apenas se concretizou de forma incipiente. Ora, Majoor e Aarts (2010) reforçam que, a nível do ensino superior, deve haver uma aposta na aprendizagem de métodos orientados para a seleção crítica da informação e aplicação do conhecimento a problemas do quotidiano, para que os indivíduos graduados sejam capazes de destrinçar evidências de opiniões. Na perspetiva de Sousa (2011) citado em Lopes e Menezes (2016, p. 98) o modelo de Bolonha enquadra-se nas teorias construtivistas da educação. Assim, neste domínio, a ABRP, de raiz sócio-construtivista (Vasconcelos & Almeida, 2012) surge como uma metodologia de ensino capaz de dar resposta às

pretensões enunciadas, porque altera a dinâmica dos processos de ensino-aprendizagem, passando o estudante a ter um papel ativo e de relevo neste processo, estimulando, simultaneamente, a aprendizagem cooperativa (Allen & Tanner 2003; Majoor & Aarts, 2010). A ABRP distancia-se de outras metodologias porque resulta de uma combinação de aspetos singulares, sendo uma das suas características distintivas o facto de o entrosamento com o problema começar antes do estudo dito formal, ao contrário do que sucede com um currículo tradicional, no qual se mede a capacidade de aplicação de conhecimento após a lecionação de um determinado conteúdo programático para esse fim (Allen & Tanner, 2003). Portanto, reportando-nos ao estudo de Norman e Schmidt (1992), no início do ciclo da ABRP, é essencial que o conhecimento prévio dos estudantes sobre o problema não seja suficiente para o compreenderem de modo profundo. Tal como os problemas da vida real, estes devem ser apresentados ao aluno de "forma difusa e pouco estruturada, ainda que estimulante" (Neto, 2013, p. 28). Esta afirmação remete-nos para os problemas mal-estruturados que podem apresentar múltiplas soluções devido ao grau de incerteza subjacente, sendo a sua resolução dependente de raciocínios mais complexos, geralmente associados a estádios de pensamento avançados, que conseguem lidar com as questões da ambiguidade e contradição do conhecimento (Faria & Bastos, 2010; Faria et al., 2015; King & Kitchener, 1994). Note-se que o pensamento pós-formal dos estudantes do ensino superior pode ser aferido através de vários instrumentos de medida, sendo um dos quais a Medida de Reflexão Epistemológica de Baxter Magolda (Faria et al., 2015).

Enquanto metodologia educativa, a ABRP tem vindo a consolidar-se, apontando-se várias vantagens, nomeadamente o desenvolvimento de competências de colaboração e cooperação (Carvalho & Dourado, 2011), maior capacidade de transferir conceitos para novos problemas (Norman & Schmidt, 1992), melhoria de resultados com a adoção da metodologia ABRP (Esteves, Coimbra & Martins, 2006; Zabit et al., 2016;), desenvolvimento de diversas competências gerais (Cachinho, 2012; Vasconcelos, 2010a) e aumento do interesse dos alunos pela disciplina (Esteves et al., 2006), entre outras. Apesar de poder ser usada em qualquer tipo de currículo (Vasconcelos & Almeida, 2012) e da sua vasta aplicação um pouco por todo o mundo, são escassos os estudos sobre ABRP na área de GA no ensino superior (vide capítulo I).

A GA constituiu-se como uma área científica autónoma na segunda metade do século XX, cruzando vários saberes disciplinares, sustentada numa visão sistémica do planeta e que resultou da emergência e generalização de um novo paradigma social,

económico e ambiental. O seu foco é contribuir para uma "efetiva gestão e conservação do ambiente balizada, ao mesmo tempo, pelos princípios de um desenvolvimento sustentável" (Dias, 2007, p. 95). O documento que orienta este domínio à escala global - Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e que serviu de referência para a elaboração da Estratégia Nacional para a Educação Ambiental (ENEA 2020) a nível nacional, perscruta uma mudança no enquadramento da aprendizagem, para que os estudantes sejam mais ativos, preocupados e responsáveis em relação ao futuro do planeta (Vasconcelos, Faria & Cardoso, 2018). Acresce que, atualmente, a importância da GA é reconhecida tanto a nível académico como a nível profissional. Enquanto UC do ensino superior, verifica-se que integra os planos de estudo de diversas licenciaturas nas áreas das geociências no panorama universitário público português e a sua frequência é quase sempre de caráter obrigatório (vide Capítulo II). Para além disso, atendendo a Machado (2007), a GA tem-se afirmado de forma consistente desde a década de noventa do século XX, absorvendo grande parte dos profissionais da área da Geologia, pelo que o referido autor atribui a este campo profissional um grande potencial de crescimento futuro no mercado de trabalho. Se o ensino superior pretende formar indivíduos com espírito crítico e reflexivo (Pereira & Marques, 2014), trabalhar com problemas reais através de uma metodologia como a ABRP, poderá eventualmente conduzir a uma maior capacitação profissional (Moutinho, Torres & Vasconcelos, 2014).

A GA lida com problemas cuja resolução reflete as dimensões da interligação entre ciência-tecnologia-sociedade-ambiente (CTSA) e acabam por ter geralmente sempre presente a incerteza e imprevisibilidade inerentes aos sistemas naturais. Assim, o potencial didático da metodologia ABRP, aplicado à resolução deste tipo de problemas mal-estruturados e que envolvem a escolha de um percurso investigativo de índole colaborativa, pode contribuir para a melhoria de capacidades e competências complexas dos estudantes no ensino superior, sustentando uma formação académica mais consentânea com os desafios do século XXI.

Tendo em consideração o acima exposto, foi elaborado um Programa de Intervenção (PI) para a componente teórico-prática da UC de GA na FCUP, à luz dos seguintes objetivos:

(1) apreciar o tipo de questionamento dos estudantes face aos cenários problemáticos de GA;

(2) analisar a construção de conhecimento substantivo, mediante a implementação de uma nova metodologia de ensino (ABRP), em comparação com a metodologia tradicional de ensino da UC;

(3) avaliar a contribuição da metodologia ABRP para os modos de conhecimento dos estudantes de ensino superior.

Pretende-se que estes objetivos de natureza específica concorram para se alcançar um objetivo de maior abrangência que será o de contribuir para o debate do sucesso da ABRP no ensino superior através da sua eficiência num estudo ligado à GA.

Para se levar a efeito os propósitos enunciados, a conceção do PI implicou várias fases, nomeadamente: a definição dos conhecimentos a serem mobilizados e o tipo de competências que se pretenderiam desenvolver; a seleção e construção de materiais e recursos com vista à sua utilização durante as aulas (fichas de trabalho de monitorização da ABRP – Apêndices I a IV), bem como instrumentos de recolha de dados para avaliar o impacte do PI (Apêndices V a VII).

Saliente-se que, dada a importância atribuída aos cenários problemáticos no contexto da ABRP, para a operacionalização do PI em análise, foram construídos quatro cenários, relativos à exploração de quatro trabalhos teórico-práticos da disciplina, tendo em consideração, por um lado, os condicionalismos de conteúdo de GA pré-estabelecidos no programa da UC da FCUP (nomeadamente os trabalhos teórico-práticos de anos letivos anteriores) e, por outro, uma necessária reorganização das aulas teórico-práticas, no que concerne à sua dinâmica de execução. Os cenários problemáticos foram desenvolvidos de acordo com as seguintes temáticas: (1) vulcanologia e prevenção do risco vulcânico, tomando como o exemplo o caso da ilha do Corvo (Açores); (2) avaliação, previsão e prevenção de sismos, tendo por referência o sismo de Loma Prieta, na Califórnia, EUA, em 1989; (3) abandono mineiro e dispersão de contaminantes em meio hídrico, com particular ênfase no caso do abandono da mina de Terramonte, Castelo de Paiva e (4) a estabilidade das zonas de vertente, focando-se o caso do deslizamento de terras em Maierato, Itália, em 2010.

Pretendeu-se, essencialmente, que as situações problemáticas elaboradas satisfizessem simultaneamente vários intuitos: serem baseadas em contextos reais, que fomentassem a curiosidade, estimulassem atenção, desencadeassem a motivação intrínseca, permitissem o questionamento contínuo (Majoor & Aarts, 2010; Vasconcelos & Almeida, 2012) e, principalmente, o designado envolvimento ou "*engagment"* (Weiss, 2003, p. 26) por parte dos alunos. É de sublinhar que também houve, neste contexto, a intencionalidade para que estes cenários promovessem a discussão de diferentes perspetivas dos problemas e das respetivas soluções (Vilaça & Morgado, 2013), através de atividades de investigação ou "*inquiry".* Tendo por referência documentos de âmbito internacional, Vasconcelos e Almeida (2012)

definem o termo “inquiry” como “o processo pelo qual os alunos questionam e investigam fenómenos, atividades que lhes permitem adquirir e compreender conceitos e construir uma visão correta da produção científica, desenvolvendo o intelecto e sabendo como proceder para resolver problemas quotidianos” (pp. 13 e 14).

Uma sinopse de cada um dos cenários está descrita na Tabela 3.1, assim como a sua classificação no que se refere ao tipo de problema em análise, segundo o referencial teórico desenvolvido no capítulo I de Schmidt e Moust (2010) e os tópicos de conteúdos básicos associados a cada temática, que poderiam ser expandidos à medida que a investigação dos estudantes fosse progredindo (devido à formulação de novas questões-problema).

Foram assim elaborados dois cenários problemáticos de âmbito nacional intercalados com outros dois cenários problemáticos a nível internacional, criando oportunidades de confronto com contextos e pesquisa bibliográfica diferenciados, nomeadamente em língua estrangeira, podendo contribuir para melhorar as competências comunicacionais dos estudantes a diversos níveis. Contudo, é de ressalvar que, de acordo com a perspetiva de Majoor e Aarts (2010), os problemas inspirados em contextos reais próximos geograficamente podem contribuir para aumentar a motivação intrínseca dos estudantes, pois serão interpretados como importantes para o seu futuro. Para além disso, tentou-se, sempre que possível, criar cenários que contivessem alusões a carreiras profissionais que os estudantes pudessem, eventualmente, vir a seguir posteriormente, atribuindo-lhes um papel cientificamente relevante na sociedade (cenários 1 e 2). Todos os cenários, tiveram ainda como referência o conceito de desenvolvimento sustentável, assente no equilíbrio entre três pilares: sociedade, meio ambiente e economia. Deste modo, partindo de problemas enquadrados no âmbito da GA, apelam à idealização de soluções que visem a diminuição da vulnerabilidade e o aumento da proteção das populações, incidindo também na consciencialização dos limites do crescimento económico face à exploração dos sistemas naturais.

Tabela 3.1. – Sinopses dos cenários abordados durante as aulas teórico-práticas (TP) da UC de GA, categorização do tipo de problema de acordo com a classificação de Schmidt e Moust (2010) e tópicos de conteúdos associados a cada temática.

Temática Aulas TP	Cenário (sinopse)	Tipo de problema (Schmidt & Moust, 2010)	Tópicos de conteúdos/ Conceitos a mobilizar
Cenário 1. Vulcanologia e prevenção do risco vulcânico **O caso da ilha do Corvo, nos Açores**	É atribuído ao estudante o papel de um vulcanólogo que trabalha no Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos, nos Açores, e tem a tarefa de indicar qual a melhor área para a localização da nova unidade de saúde a ser construída na ilha do Corvo.	Explicativo Procura de factos Estratégia	Teoria da Tectónica de Placas Enquadramento geotectónico dos Açores carta de declives e uma carta de coerência litológica; Risco vulcânico mapa topográfico carta de risco vulcânico ordenamento do território
Cenário 2. Sismos – avaliação, previsão e prevenção **O caso do sismo de Loma Prieta, na Califórnia, em 1989**	É exibido um pequeno documentário sobre o sismo de Loma Prieta aos estudantes. Este serve de mote para um diálogo fictício entre dois amigos da FCUP que discutem características do sismo. Perante a situação, é atribuído ao estudante o papel de um dos amigos, que deve ponderar se é possível prever com rigor o próximo sismo e se será aconselhável o aviso das populações para essa eventualidade.	Explicativo Procura de factos Estratégia Dilema moral	Teoria da Tectónica de Placas, sismo, epicentro, hipocentro, magnitude, sismograma, sismógrafo, onda sísmica, falha, intensidade sísmica, Escala de Richter, Teoria das Lacunas Sísmicas risco sísmico, previsão sísmica
Cenário 3. Abandono mineiro e dispersão de contaminantes em meio hídrico **O caso da mina abandonada de Terramonte**	O Joaquim vive no Porto, mas herdou um terreno, para cultivo, situado em Raiva, perto do rio Douro. Contudo, lê uma notícia (real) de jornal que o alerta para a contaminação dos efluentes provenientes da mina abandonada de Terramonte. O estudante, no papel de Joaquim, deverá elaborar um relatório final sobre o assunto para entregar ao Presidente da Junta de freguesia de Raiva, que está revoltado e quer resolver a situação com as entidades competentes.	Explicativo Procura de factos	Recursos naturais, exploração mineira, escombreira, biodiversidade, biosfera, atmosfera, poluição, hidrosfera, impacte ambiental, gestão sustentável dos recursos, índice de geoacumulação, contaminação geoquímica
Cenário 4. Estabilidade das zonas de vertente **O caso do movimento de massas em Maierato, na Itália, em 2010**	É visionado um pequeno filme de uma notícia sobre um movimento de massas em Maierato, Itália. Perante a leitura do diálogo fictício entre dois amigos sobre o tema, os estudantes são desafiados a planearam atividades experimentais que testem a influência de vários fatores sobre o movimento das vertentes.	Explicativo Procura de factos Estratégia	Risco geológico, movimentos de massa, deslizamento de vertentes, fatores condicionantes, fatores desencadeantes, prevenção.

Nota: A construção da tabela foi baseada maioritariamente na estrutura da tabela apresentada por Allen e Tanner (2003), p. 75.

Os cenários 1 e 2 concentram-se nos riscos geológicos relacionados com a expressão da dinâmica interna do planeta, como a atividade vulcânica e sísmica, que poderão eventualmente vir a ser previstos de um modo mais preciso no futuro, mas cujo controlo efetivo será quase impossível. Ambos os cenários propostos remetem a redução do impacte negativo dos riscos naturais para as populações em torno de dois eixos principais: a mitigação e a prevenção. A análise e estudo de registos históricos e a monitorização de atividade vulcânica e sísmica, a construção de cartas de risco, o adequado ordenamento do território, a construção de infraestruturas resistentes aos abalos sísmicos, são talvez dos métodos mais utilizados pelos cientistas no sentido da previsão e prevenção em relação a estes eventos. Desta perspetiva, decorre a necessidade de serem ponderadas as consequências nefastas que um alarme falso possa ter no desencadeamento de histeria nas populações ou mesmo no contexto económico de uma região, sendo relevante o desenvolvimento de um raciocínio estratégico proativo que inclua uma adequada gestão ambiental dos riscos associados a fenómenos geológicos extremos.

A componente antropogénica dos riscos inerentes à atividade mineira está patente no cenário 3, nomeadamente no que concerne à contaminação dos subsistemas terrestres (devido às escombreiras e dispersão dos elementos metálicos nos efluentes). Este cenário realça o passivo ambiental associado ao abandono das antigas áreas mineiras, problemas para os quais as soluções encontradas ainda não conseguem escamotear por completo as alterações introduzidas nos ecossistemas no passado histórico (como no caso de Terramonte). Daí a importância para a sensibilização do extração e consumo sustentado dos recursos minerais e da recuperação ambiental das áreas mineiras, pela sua representatividade no desenvolvimento económico e influência na qualidade de vida das populações circundantes.

O cenário 4 baseia-se nas consequências dos riscos geológicos naturais derivados da dinâmica externa do planeta, nos quais a ação humana pode ter um papel preponderante. A este propósito, refira-se a observação de Carcedo e Javier (1987), ao considerarem que os riscos naturais puros estão praticamente limitados ao âmbito da dinâmica interna do planeta, devido à acentuada influência e modificação induzida pelo ser humano no meio geológico externo. A possibilidade de execução de uma atividade laboratorial de manipulação de variáveis relacionadas com os fatores que influenciam os movimentos de massa, bem como a familiarização com o caso do deslizamento de terras em Maierato, permite refletir acerca as consequências destes

acontecimentos em termos socioeconómicos, bem como sobre os limites de capacidade de suporte das vertentes, por exemplo, no que diz respeito à pressão urbanística e consequentemente, no sentido de responsabilidade nas políticas de ordenamento do território.

No final do PI era expectável que a aplicação da metodologia de ABRP, utilizando os cenários acima descritos, contribuísse para um maior conhecimento conceptual no âmbito da GA, despoletasse atitudes mais favoráveis a um questionamento de nível cognitivo de ordem superior à medida que houvesse maior familiarização com a metodologia e se verificasse uma diferenciação no desenvolvimento do pensamento pós-formal dos estudantes submetidos à ABRP comparativamente aos colegas que foram alvo do ensino dito tradicional, tendo por base o Modelo de Reflexão Epistemológica de Baxter Magolda (1992).

3.2. Implementação do Programa de Intervenção

Segundo Vasconcelos (2010a), a implementação de um PI de ABRP implica três fases, a saber: (a) envolvimento no programa, para que os alunos entendam o problema e compreendam qual o seu papel bem como o do professor; (b) resolver o problema de modo colaborativo no grupo de trabalho e (c) avaliar o processo de construção de conhecimento e desenvolvimento de competências.

O PI com a aplicação da metodologia ABRP à UC de GA, decorreu durante o primeiro semestre letivo de 2012/2013, contando-se nove semanas letivas para a sua consecução, em aulas de duas horas semanais da componente teórico-prática da UC, num total de dezoito horas de intervenção (tabela 3.2.). Deste modo, foi aplicada a metodologia ABRP ao grupo experimental, enquanto no grupo de comparação as aulas foram lecionadas recorrendo à metodologia tradicional, isto é, a um ensino de índole mais expositiva e menos centrada no estudante.

Tabela 3.2. – Resumo da distribuição temporal das atividades planificadas no decorrer do Programa de Intervenção, do primeiro semestre letivo de 2012/13 da UC de GA, na FCUP.

Duração	Atividades
Semana 1 1 aula (2 H)	Protocolo de recolha de dados: ficha sócio-demográfica e pré-teste de conhecimentos. Apresentação da metodologia ABRP. Simulação de uma situação problemática recorrendo à metodologia ABRP.
Semana 2 1 aula (2 H)	Início da exploração do trabalho teórico-prático 1 (cenário 1), de acordo com a metodologia ABRP.
Semana 3 1 aula (2 H)	Conclusão da exploração do trabalho teórico-prático 1 (cenário 1), de acordo com a metodologia ABRP.
Semana 4 1 aula (2 H)	Início da exploração do trabalho teórico-prático 2 (cenário 2), de acordo com a metodologia ABRP.
Semana 5 1 aula (2 H)	Conclusão da exploração do trabalho teórico-prático 2 (cenário 2), de acordo com a metodologia ABRP.
Semana 6 1 aula (2 H)	Exploração do trabalho teórico-prático 3 (cenário 3), de acordo com a metodologia ABRP.
Semana 7 1 aula (2 H)	Início da exploração do trabalho teórico-prático 4 (cenário 4), de acordo com a metodologia ABRP.
Semana 8 1 aula (2 H)	Conclusão da exploração do trabalho teórico-prático 4 (cenário 4), de acordo com a metodologia ABRP.
Semana 9 1 aula (2 H)	Protocolo de recolha de dados: pós-teste de conhecimentos e instrumento de avaliação do desenvolvimento pós-formal (MER).

Os estudantes tiveram acesso às fontes bibliográficas sugeridas para cada um dos cenários (correspondentes aos respetivos trabalhos teórico-práticos da UC) e trabalharam de forma colaborativa sob a orientação do professor/tutor, sendo que no final teriam de apresentar os resultados obtidos para serem submetidos a avaliação.

A primeira fase, correspondente ao "envolvimento no programa", ocorreu na primeira semana de aulas e na introdução à exploração dos cenários problemáticos.

Na primeira aula, os estudantes do grupo experimental foram informados de que iriam integrar o PI no âmbito desta investigação, tendo sido realizada uma descrição sumária das suas etapas e objetivos. Uma vez que os estudantes não estavam familiarizados com a ABRP, foram apresentados os seus pressupostos teóricos, dado que seria esta a metodologia adotada em quatro trabalhos teórico-práticos da UC de GA durante o semestre letivo. Em seguida, foi realizada a divisão dos estudantes em grupos de trabalho, maioritariamente de cinco elementos, seguindo as recomendações de Lambros (2004), apologista de que cada grupo deverá ser formado por quatro a seis elementos. Após este procedimento, iniciou-se a simulação uma situação de ABRP. Os estudantes tiveram que listar factos, elencar as questões surgidas perante o cenário problemático, discutir de modo colaborativo hipóteses de

resolução, reformular as questões e adiantar possíveis soluções viáveis. O professor atuou como um tutor, mediando o processo, evitando fornecer demasiados detalhes ou informações de relevo para a resolução do problema. De realçar que, nesta fase de adaptação, as perguntas dos estudantes por vezes eram sobre o processo de ABRP em si mesmo. Os estudantes foram ainda submetidos previamente a um pré-teste de ordem conceptual, construído com o propósito de diagnóstico, para aferir os seus conhecimentos na área da GA, especificamente nos domínios de conteúdos das aulas teórico-práticas que iriam ser desenvolvidos durante o semestre letivo.

Na segunda fase, ao longo de sete aulas (catorze horas), foi aplicada a metodologia ABRP no ensino da GA. Para esse efeito, colocaram-se sob análise, em semanas sucessivas, quatro cenários problemáticos (vide tabela 3.1.), correspondentes a quatro trabalhos teórico-práticos da UC, constantes em fichas de trabalho previamente elaboradas para esse fim (Apêndices I a IV). Estes recursos educativos, assim como o desenvolvimento das etapas do processo de ABRP, foram traçados tendo por referência os pressupostos da obra de Vasconcelos e Almeida (2012), conforme descrito na secção seguinte (3.3. – Estrutura e dinâmica das aulas).

Nesta fase, no decorrer das aulas, sob orientação do professor, os estudantes mobilizaram-se em grupos de trabalho e tiveram oportunidade de analisar os factos, formular questões, clarificar conceitos, investigar e refletir sobre o próprio conhecimento e conceber soluções, após reunirem evidências nesse sentido. Para cada um dos cenários, foram respeitadas as etapas do ciclo da ABRP, promovendo-se o questionamento. As questões colocadas pelos estudantes foram registadas para se proceder à sua posterior categorização no âmbito desta tese.

O professor responsável pelas aulas teórico-práticas atuou como tutor, mediando a aprendizagem, esclarecendo pequenas dúvidas e verificando se os estudantes tinham acesso a toda a informação necessária. Saliente-se que o tutor tinha empatia com os estudantes, criando um ambiente favorável à aprendizagem e era um perito na matéria, características consideradas essenciais para a eficácia deste papel pedagógico, no entender de Schmidt e Moust (1995). Saliente-se que, respeitando o que Lambros (2004) aconselha, foram reunidos de forma antecipada os recursos materiais necessários para a investigação das questões-problema, de modo a não prejudicar a sua resolução, uma vez que a progressiva familiarização com o processo permitiria, aos estudantes, uma maior autonomia ao longo do tempo. Por outro lado, atendendo a Vasconcelos e Almeida (2012) impediu que a investigação efetuada pelos estudantes não consumisse tempo excessivo. Assim, foi facultada

bibliografia para consulta e discussão intra-grupo necessárias para a realização das atividades propostas, inclusivamente materiais já fotocopiados e sugestão de *sites* eletrónicos, provenientes de fontes diversificadas e facilmente acessíveis aos intervenientes no PI.

Na terceira e última fase, de avaliação do processo de construção de conhecimento e desenvolvimento de competências, para efeitos de análise estatística posterior, foi realizada a aplicação do pós-teste a nível de conceptual e foi efetuado o preenchimento do protocolo de Medida de Reflexão Epistemológica (MER). Para além disso, para formalizar a avaliação final em termos académicos, os alunos tiveram de entregar dois relatórios das atividades realizadas.

3.3. Estrutura e dinâmica das aulas

Para a consecução do PI, os estudantes foram primeiramente divididos em pequenos grupos de trabalho, de cinco elementos cada. O professor (tutor) que aplicou a metodologia ABRP teve em consideração a constituição de cada grupo de alunos que deveria ser equilibrada em termos de talento académico, características de introversão e extroversão (Lambros, 2004). Contudo, como é sabido, ao trabalharmos com seres humanos, não está garantida a existência de outras variáveis eventualmente merecedoras de ponderação, mas que pensamos pouco ou nada possam interferir neste processo. Note-se que, segundo Majoor e Aarts (2010), trabalhar em conjunto e em pequenos grupos ajuda a desenvolver competências de colaboração e de comunicação.

Numa primeira aproximação é apresentado aos estudantes um problema para que seja resolvido (MacKinnon, 1999; Schimdt & Moust, 2010). Esta apresentação pode ser efetuada através de diversos recursos ou estratégias, como *powerpoint*, pequenas exposições, banda desenhada, documentários, entre outros. Apesar de algumas variações no que diz respeito ao tipo de recursos educativos utilizados, optou-se por um denominador comum a todos os cenários: o fornecimento de uma ficha de monitorização (Apêndices I a IV) a cada estudante, que serviu de orientação durante todo o processo de exploração do processo investigativo da ABRP, assim como a leitura do problema em voz alta para toda a turma (esta última opção prendeu-se com a maior rentabilização do tempo disponível, conforme Vasconcelos, 2010b). A vertente pedagógico-didática teve por referência a estrutura das propostas de trabalho

apresentadas na obra de Vasconcelos e Almeida (2012). Assim, a ficha de trabalho respeitante a cada um dos cenários, para monitorização da metodologia ABRP, apresentava de modo consistente os seguintes itens: (1) tempo previsto, (2) objetivos, (3) conceitos a mobilizar, (4) descrição do cenário problemático, (5) lista de factos do problema apresentado, (6) o que o grupo precisa de saber (questões-problema), (7) planificação da investigação, (8) proposta de solução ou produto final, (9) fontes de dados e (10) uma nova situação de aplicação (face aos conhecimentos que seriam mobilizados durante o processo).

Em relação ao "tempo previsto", este era meramente indicativo e baseado na planificação efetuada, podendo sofrer pequenos reajustes consoante as contingências. Os "objetivos" de cada tema correspondiam a "saberes e capacidades que se pretende que os alunos atinjam como o desenvolvimento da investigação" (Vasconcelos & Almeida, 2012, p. 34). Partilhamos a opinião de Dahlgren e Öberg (2001), ao considerarmos que estes não são uma "*checklist*", mas antes uma ferramenta para os alunos guiarem a sua aprendizagem, fornecendo um enquadramento de algum modo flexível para essa função. Os "conceitos a mobilizar" foram inseridos justificadamente também através deste enquadramento. É de salientar que, segundo Norman e Schmidt (1992), durante a discussão do cenário problemático, as questões levantadas também podem ser utilizadas como objetivos de aprendizagem auto-dirigida. A "lista de factos" do problema seria preenchida após a confrontação com o cenário em análise. Acresce que os alunos teriam de reportar apenas os factos relevantes para a resolução do problema e não fazer uma listagem de forma indiscriminada (Vasconcelos & Almeida, 2012), sendo para esse efeito importante a regulação levada a efeito pelo professor (tutor). As "questões-problema" ou "o que o grupo precisa de saber", eram preenchidas após discussão, análise e reflexão no seio do grupo de trabalho, conforme os aspetos que os estudantes determinassem que era necessário investigar. Em seguida, as questões-problema seriam dadas a conhecer à turma através do porta-voz do grupo. Nesta fase, houve igualmente uma distinção quanto às questões que deveriam ser aprofundadas e outras, consideradas marginais ou de menor relevo, que eram respondidas de forma imediata com o auxílio do professor tutor. Palma e Leite (2006) entendem que a formulação de questões (tanto a nível individual como em grupo) deve passar sempre pela discussão no grupo-turma, sob a orientação do professor, para que se decida em conjunto o que faz sentido dar ou não continuidade, conforme foi concretizado nas aulas de GA. Após esta triagem, todas as questões foram registadas pelo professor (tutor), utilizando o suporte digital, no momento da síntese em grupo. Como estas questões serão alvo de análise qualitativa,

surgem discriminadas na totalidade na secção 5.1. (Análise das questões colocadas pelos estudantes) da presente tese, apresentando-se apenas alguns exemplos nas secções seguintes referentes à "exploração do cenário" das aulas lecionadas.

Para conseguirem responder às questões levantadas, os alunos deviam proceder em seguida à "planificação da investigação", na qual adiantariam estratégias de modo a que, com base no que já sabiam e precisavam de saber para entenderem e resolverem o problema, gerissem a sua carga de trabalho de forma ajustada e eficiente. E, caso se identifiquem obstáculos complexos que inviabilizem o avanço na resolução do problema, o professor (tutor) pode redirecionar o processo, recorrendo a pequenas exposições teóricas (Vasconcelos & Almeida, 2012). Por último, com base nos conhecimentos construídos após o levantar dos factos, gerar hipóteses e emergirem questões acerca do problema, identificando os assuntos de aprendizagem, os estudantes deveriam elaborar o relatório final da sua investigação, com apresentação do produto final e síntese das propostas de solução. Teriam ainda oportunidade de aplicar os seus conhecimentos e desenvolver a capacidade argumentativa na secção de "Aplicação", na qual eram colocadas novas questões de reflexão.

Algumas das estratégias de questionamento e metacognição sugeridas por Ronis (2008) foram usadas durante a implementação da metodologia ABRP, com o propósito de incentivar os alunos a refletirem de modo mais aprofundado, como por exemplo: leitura analítica (dividir um texto de forma crítica em "secções" mais diminutas para facilitar a interpretação); diálogo socrático (técnica de questionamento que ajuda os estudantes a chegarem às suas próprias conclusões) ou escrita estratégica (tipo de escrita que segue uma lógica precisa no sentido de um objetivo particular).

No que diz respeito a desenvolvimento de competências durante o processo, o estudante deveria ser capaz de trabalhar colaborativamente, mobilizar novos conhecimentos face a evidências e ideias prévias, selecionar e organizar criticamente as fontes de informação, estruturar coerentemente ideias e argumentos e definir estratégias adequadas para a resolução de problemas específicos.

Trabalho teórico-prático 1 - Vulcanologia e prevenção do risco vulcânico

No que concerne ao cenário 1 – "O caso da ilha do Corvo, nos Açores" (Apêndice I), os estudantes, no papel de vulcanólogos, foram confrontados com um problema relativo à determinação da localização mais adequada para a construção de

uma unidade de saúde na ilha do Corvo. Os objetivos deste cenário problemático passavam por reforçar a compreensão da Teoria da Tectónica de Placas, tendo em consideração o caso particular relativo ao enquadramento geotectónico dos Açores; interpretar a história evolutiva do vulcão e de uma carta geológica da ilha do Corvo (fornecido aos alunos em suporte de papel); apontar condicionantes que interferem no ordenamento do território da ilha do Corvo e elaborar uma carta de risco vulcânico tendo por base uma carta de declives e uma carta de coerência litológica. Os estudantes, em pequeno grupo, discutiram o que já sabiam sobre o assunto e apontaram os factos do problema como, por exemplo: *os Açores têm uma geodinâmica ativa; não foram registadas erupções na ilha do Corvo no tempo histórico; existe forte erosão marítima dos flancos do vulcão que pode provocar desabamentos; a atividade vulcânica é imprevisível e comporta riscos para as populações* ou *os efeitos da atividade vulcânica podem ser diminuídos recorrendo a medidas de previsão e prevenção*.

Efetuada a discussão e concluída a respetiva síntese em grande grupo, procedeu-se do mesmo modo para as questões-problema que os estudantes formularam e iriam posteriormente investigar, conforme a seguir se exemplifica: "*Existe apenas um método para minimizar os riscos para a população perante uma erupção vulcânica?"; "É possível prever uma erupção vulcânica?; "Onde se situa a povoação mais próxima do vulcão no Corvo?"; "O vulcão do Corvo é considerado ativo?"* ou "*Como se elabora uma carta de risco vulcânico e quais os parâmetros necessários para a sua construção?".*

Durante a fase seguinte, os estudantes prosseguindo o trabalho em grupo, planificaram a sua investigação que, de um modo geral, incluiu as seguintes etapas: pesquisa bibliográfica (investigar o enquadramento geotectónico e a história evolutiva do vulcão, benefícios/malefícios da atividade vulcânica, métodos para prever a ocorrência de uma erupção vulcânica…), elaboração da carta de risco vulcânico, determinação do melhor local para a construção da unidade de saúde e apresentação dos resultados.

Os estudantes debruçaram-se, em seguida, sobre a análise de exemplares de artigos e livros que foram fornecidos para consulta, partilhando trocas de informação acerca dos assuntos pesquisados. Para além disso, caso o pretendessem, poderiam aceder a endereços eletrónicos sugeridos ou consultar outras fontes de dados que considerassem adequadas à temática. Procederam igualmente à análise da carta geológica da ilha do Corvo (escala 1/25 000). A partir das informações daí retiradas e através da mediação do professor (tutor), conseguiram elaborar a carta de risco

vulcânico da ilha do Corvo, a partir da sobreposição da carta de declives e de coerência litológica. Para a determinação do melhor local para a construção da unidade de saúde, foram vários os aspetos condicionantes apontados pelos estudantes, entre os quais: a origem vulcânica da ilha do Corvo e localização próxima do limite de placas tectónicas; ausência de atividade vulcânica documentada em registos históricos na ilha do Corvo, ao contrário de outras ilhas dos Açores; impossibilidade de previsão efetiva de uma erupção vulcânica, mas indicação de meios de atenuar os seus efeitos (como, por exemplo, através da elaboração de cartas de risco vulcânico, entre outras medidas); referência ao facto de a Vila do Corvo estar instalada numa região de risco vulcânico V, que poderá ser adequada à instalação de uma unidade de saúde nessa zona de baixa inclinação, sobre rochas coerentes, longe de infraestruturas industriais e próxima da população.

Assim, após preenchimento da ficha de monitorização ABRP relativa a este cenário problemático, a apresentação do produto final e síntese das propostas de solução era realizada sob a forma de um relatório.

Trabalho teórico-prático 2 – Sismos: avaliação, previsão e prevenção

Como introdução ao cenário 2 – "O caso do sismo de Loma Prieta" recorreu-se à projeção de um curto documentário, com a duração aproximada de dez minutos, sobre o sismo de Loma Prieta. Este recurso didático serviu para promover a curiosidade e o questionamento dos estudantes relativamente ao tema, dado que permitia ilustrar as consequências diretas e indiretas decorrentes da atividade sísmica, assim como fatores específicos que a influenciam. Os estudantes foram ainda expostos a uma situação problemática, patente na ficha de monitorização n.º 2 (Apêndice II), onde novas variáveis relativas ao sismo de Loma Prieta eram mencionadas no decorrer de um diálogo entre dois amigos, ampliando a dimensão dos factos a considerar. Este cenário contemplava objetivos específicos, como por exemplo: determinar o epicentro de um sismo; interpretar sismogramas; conhecer as escalas para avaliação de sismos; determinar graficamente a magnitude de um sismo; relacionar a ocorrência do sismo de Loma Prieta com o seu enquadramento geotectónico; prever a ocorrência de um sismo tendo em consideração a teoria das lacunas sísmicas; conhecer modos de previsão e prevenção dos efeitos dos sismos e discutir os efeitos possíveis de uma previsão sísmica não confirmada.

Assim, após a distribuição da ficha de monitorização, visionamento do documentário e leitura conjunta do cenário, os estudantes registaram os factos considerados importantes, tais como: *o sismo de Loma Prieta ocorreu a 17 de Outubro de 1989, na baía de São Francisco, ao longo da Falha de Santo André, na Califórnia; a partir dos sismogramas obtidos em três cidades americanas, é possível determinar o epicentro de um sismo; o sismo de Loma Prieta já tinha sido previsto em 1988; a previsão sísmica pode ser efetuada recorrendo à teoria das lacunas sísmicas* ou *a reação da população perante a ocorrência iminente de um sismo é imprevisível.* Seguiu-se a síntese em grande grupo, seguida de novo trabalho de apuramento das questões-problema suscitadas pelo cenário, em sede de grupo de pequena dimensão.

Após algum tempo, em grupo, de inquirição dos assuntos de investigação a delinear, as questões seguintes (entre outras) foram partilhadas e globalmente sintetizadas: "*Como determinar o epicentro do sismo?"; "Como determinar a magnitude de um sismo?"; "Por que razão Loma Prieta foi afetada por um sismo?"; "É possível fazer a previsão de um sismo?"* ou *"Como alertar corretamente a população para a ocorrência de um sismo sem gerar pânico?*".

Mediante os novos desafios atrás descritos, os estudantes traçaram, novamente em grupo, uma planificação sumária do que teriam de empreender o que, em termos gerais, incluiu um faseamento sequencial exigindo: pesquisa bibliográfica relativamente às questões geradas; determinação da magnitude e epicentro do sismo de Loma Prieta através do método gráfico, com base sismogramas e mapa fornecidos; previsão aproximada da ocorrência do próximo sismo; discussão dos benefícios/malefícios de uma previsão sísmica face às populações visadas e apresentação dos resultados.

Com o apoio das fontes bibliográficas constantes na ficha nº2, que foram disponibilizadas aos grupos de estudantes e sob a orientação do professor (tutor), estes foram capazes de determinar, a partir de sismogramas, o valor de magnitude do sismo e, utilizando o método de triangulação, obtiveram a localização do epicentro num mapa. Para além disso, com o avançar dos trabalhos, surgiram hipóteses relacionadas com a previsão sísmica, que denotavam visões contraditórias dos estudantes relativamente a este assunto. Por um lado, verificava-se que antes da ocorrência do sismo de Loma Prieta, entre 1969 e 1989, existiam zonas ao longo da falha de Santo André onde não ocorria praticamente o registo de sismos ou se verificava baixa sismicidade, tendo provavelmente a maior acumulação de tensão ocorrido nessas regiões de lacunas sísmicas e o sismo ter sido gerado ao ultrapassar-

se o limite de elasticidade das rochas aí existentes. Partindo deste pressuposto, alguns grupos anteviram a ocorrência de um novo sismo na região de *Cristal Springs Resevoir*. Outros grupos contrapuseram que tal não seria uma previsão certa, uma vez que um aumento de atividade sísmica numa determinada região também pode ser sinal de um futuro terramoto. Decorrente desta incerteza, a argumentação dos estudantes focou-se no dever de alerta das populações em caso de previsão de um sismo, tendo as opiniões também divergido neste aspeto e conduzido a novas questões-problema no campo da ética. Assim, os grupos de trabalho focaram-se nas medidas para melhorar a proteção das populações relativamente à possibilidade de ocorrência de um novo sismo, referindo para esse efeito, a título exemplificativo, a construção de edifícios antissísmicos.

Seguindo o mesmo procedimento do trabalho teórico-prático anterior, após preenchimento da ficha de monitorização ABRP nº 2 (Apêndice II), a apresentação do produto final e síntese das propostas de solução era realizada sob a forma de um relatório.

Trabalho teórico-prático 3 – Abandono mineiro e dispersão dos contaminantes em meio hídrico

O cenário 3 – "O caso da mina abandonada de Terramonte", tinha por base uma história construída a partir da exploração de uma notícia de um jornal diário sobre o legado mineiro de Terramonte e de valores reais de concentração de elementos químicos que estariam a poluir a Ribeira de Castanheira, obtidos a partir de estudos científicos realizados nessa área (Apêndice III). Os estudantes eram colocados no papel da personagem principal que, perante estes dados, pretendia reunir uma série de evidências para compilação num relatório a ser entregue ao presidente da Junta de Freguesia de Raiva. Assim, o cenário de problematização descrito remetia para vários objetivos específicos, nomeadamente: descrever consequências para os ecossistemas e para a saúde humana decorrentes da exploração dos recursos minerais; determinar o índice de Geoacumulação de determinados elementos químicos presentes em sedimentos; identificar possíveis formas de eliminar resíduos que são consequência da extração e/ou transformação de recursos minerais e reconhecer medidas integradas de gestão de recursos como contributo para a sustentabilidade na Terra.

Os seguintes factos principais foram apontados pelos grupos de trabalho posteriormente à leitura do cenário: *a Ribeira da Castanheira está poluída com zinco,*

chumbo e cobre; a Ribeira da Castanheira desagua no Rio Douro; a mina de Terramonte foi uma das principais produtoras de prata a nível europeu; os campos de cultivo próximos da Ribeira da Castanheira são improdutivos; foram realizadas obras de recuperação na mina de Terramonte entre 2005 e 2008; houve uma derrocada de um dos muros de sustentação da escombreira, o que levou à dispersão de materiais ao longo da Ribeira da Castanheira e *as medidas tomadas pelas autoridades competentes não têm surtido o efeito desejado.*

À semelhança dos cenários anteriores e, cumprindo o preconizado na metodologia ABRP, os estudantes formularam em grupo as questões-problema que iriam investigar, entre as quais se destacaram as seguintes: *"Qual o impacte da poluição na fauna e flora da Ribeira da Castanheira?"; "Será que os sistemas naturais conseguem autorregenerar-se?"*; *"Quais são as consequências para a saúde pública resultantes da poluição causada pela escombreira?"; "Por que razão a Ribeira da Castanheira apresenta uma coloração alaranjada?"* ou *"Que soluções existem para resolver o problema da contaminação causada pela poluição da Ribeira da Castanheira?".*

A planificação levada a efeito pelos grupos de trabalho, apesar de variações, teve como linhas orientadoras: a pesquisa bibliográfica recorrendo a artigos disponíveis para consulta e endereços eletrónicos sugeridos; a determinação do índice de Geoacumulação; a ponderação sobre os efeitos negativos ambientais e sociais causados pelo abandono na mina de Terramonte, nomeadamente consequências para a saúde humana, as medidas que deveriam ser adotadas para a recuperação total da mina abandonada e a apresentação final dos resultados.

Os estudantes, envolvidos no trabalho de grupo e, recorrendo às tecnologias de informação e comunicação, calcularam o índice de Geoacumulação do cobre, chumbo e zinco, para as várias amostras de sedimentos analisadas no leito da Ribeira da Castanheira, apercebendo-se que o índice de Geoacumulação geralmente aumentava com a proximidade à zona da escombreira, chegando a atingir intensidades de poluição com a classificação de "muito poluído a poluição moderada". Em seguida, os grupos de trabalho continuaram a debater as possíveis soluções às questões-problema levantadas, com o apoio da bibliografia disponível e a mediação do professor (tutor). Apesar de terem alguma consciência prévia quanto ao impacte negativo causado pela exploração mineira no ambiente e na saúde humana, os estudantes conseguiram detalhar de modo mais aprofundado tais consequências, resultado da análise dos artigos disponíveis, focando-se na drenagem ácida, por um

lado, e na emergência de uma nova especialidade científica designada por Geologia Médica, por outro. Apesar de reconhecerem os danos muitas vezes irreparáveis nas zonas envolventes das minas abandonadas, os estudantes foram capazes de sugerir diversas estratégias de remediação que poderiam ser aplicadas no caso da mina de Terramonte (para além das que já teriam sido implementadas no terreno), como o caso da fitoextração.

A apresentação do produto final e síntese das propostas de solução era realizada sob a forma de um relatório, após preenchimento da ficha de monitorização ABRP.

Trabalho teórico-prático 4 – Estabilidade das zonas de vertente

A exploração do cenário 4 – "O caso do movimento de massas em Maierato" - iniciou-se com a visualização de uma reportagem de um deslizamento de terreno ocorrido naquela região italiana, em fevereiro de 2010, para que os estudantes verificassem a dimensão que um fenómeno desta natureza poderia alcançar, despertando simultaneamente a sua curiosidade e motivação em relação à temática da estabilidade das vertentes. Este vídeo mostrava uma filmagem em tempo real do fenómeno. Em seguida, os estudantes leram o diálogo entre dois amigos descrito na ficha de monitorização nº4 (Apêndice IV) acerca de desta temática, que serviu de mote para colocarem posteriormente em prática três atividades experimentais.

O cenário 4 foi construído na perspetiva de serem alcançados os seguintes objetivos específicos: distinguir os dois principais tipos de fatores que influenciam a estabilidade das vertentes (condicionantes e desencadeantes); conhecer diferentes exemplos de fatores desencadeantes dos movimentos de massa; identificar fatores desencadeantes de origem antrópica; refletir sobre as medidas que devem ser tomadas para evitar a instabilidade das vertentes e interpretar resultados experimentais, simulando diferentes condições para a ocorrência de deslizamento de vertentes. A exploração do cenário permitiu que os grupos de estudantes trabalhassem para identificarem os factos primordiais, fazendo-se de seguida uma exposição dos mesmos em grande grupo. Os principais factos inventariados foram os seguintes: *as zonas de vertente podem estar sujeitas a fatores de risco de vária ordem, como por exemplo, a mudança das condições hidrológicas; os movimentos de massa são sobretudo o resultado do efeito da gravidade; as mudanças nas condições meteorológicas influenciam a erosão hídrica; os movimentos de massa podem ser desencadeados por terramotos; as atividades antrópicas podem contribuir para os*

movimentos de massa ou *o declive do terreno tem influência nos movimentos de massa*.

Cientes da fase seguinte da ABRP, os estudantes continuaram o seu percurso e procederam ao levantamento das questões-problema em grupos de pequena dimensão, tendo-se realizado a sua síntese em grande grupo. Algumas das questões-problema enunciadas foram as seguintes: *"Qual a influência da chuva ou de outras condições atmosféricas no movimento de massa?"; "Qual a influência do coberto vegetal na ocorrência de movimentos de massa?"; "Qual a influência do Homem nos movimentos de massa?"; "Será que existem formas de prever os deslizamentos de terras?"; "Qual a influência do tipo de solo nos movimentos de massa?";* ou *"Como proceder depois da ocorrência dos movimentos de massa?".*

Após esta etapa, os grupos de estudantes planificaram as tarefas a serem executadas. Tal como nos cenários anteriores, tinham vários documentos em suporte de papel e *sites* eletrónicos que podiam consultar para tentar responder às questões-problema, o que significava uma etapa de leitura e análise de fontes bibliográficas (Figura 3.1.). Para além desta fase, os estudantes tiveram de incluir no seu planeamento a execução de três atividades experimentais e o preenchimento dos respetivos V de Gowin, elaborados em torno das questões centrais: "*Qual a relação entre a inclinação e a presença de água numa vertente?*"; "*Qual a relação entre o ângulo de atrito e a presença de água?*" e "*Qual a influência da água num movimento de massa*?".

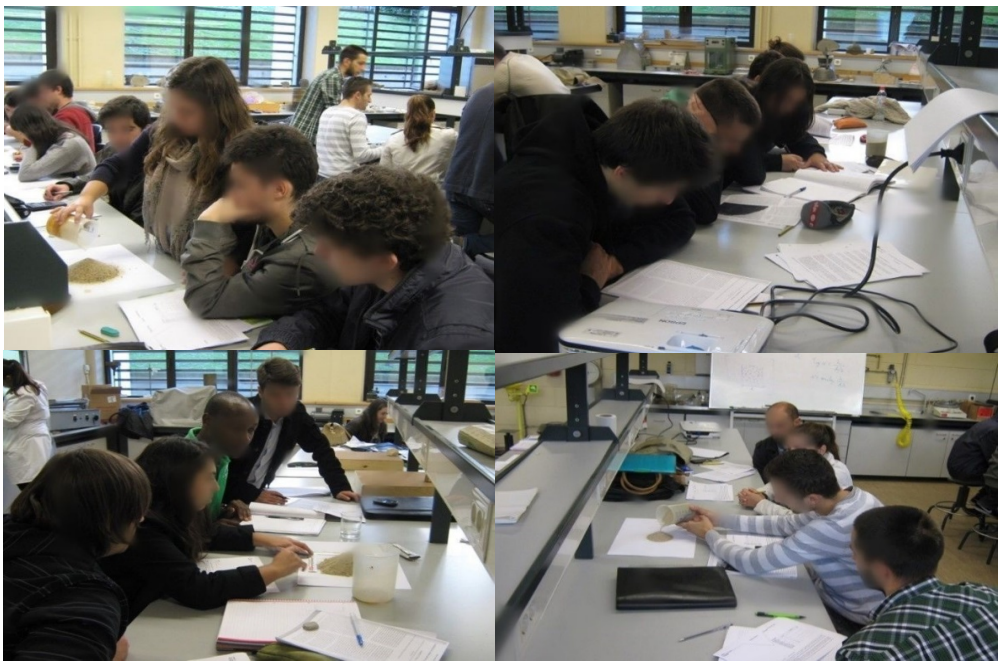


Figura 3.1. – Trabalho colaborativo durante as atividades laboratoriais integrantes do ciclo ABRP, respeitantes à temática: "Estabilidade de Vertentes".

Mediante a pesquisa bibliográfica efetuada, cada grupo de trabalho inteirou-se dos principais tipos de fatores que influenciam a estabilidade das vertentes. A sua atenção focou-se principalmente nos fatores que poderiam ser manipulados em contexto laboratorial, utilizando modelos físicos simplificados análogos à realidade.

O V de Gowin serviu como um mobilizador e organizador de conhecimentos nas atividades realizadas, pois sendo constituído por uma ala conceptual e uma ala metodológica, requer que as respostas às questões-problema centrais resultem de uma dinâmica constante entre aquelas duas componentes, apelando igualmente à capacidade de síntese dos estudantes (Chamizo, 2011). Os grupos de trabalho manipularam diversas variáveis, como o tipo de materiais litológicos utilizados, o ângulo de repouso dos materiais ou o grau de saturação da água enquanto fator desencadeante dos movimentos de massa (Figura 3.1). O professor (tutor) orientou a execução de todos os trabalhos práticos. No decorrer da fase de experimentação, identificaram-se novos problemas emergentes e repetiu-se o ciclo da sua resolução. A apresentação do produto final e síntese das propostas de solução foi realizada sob a forma de um relatório, após preenchimento da ficha de monitorização ABRP nº 4 (Apêndice IV).

Capítulo IV

Metodologia de Investigação

O presente capítulo apresenta as opções de caráter metodológico relativamente aos objetivos, às questões de investigação e às hipóteses formuladas que orientaram o plano de investigação elaborado. Para esse efeito, teve-se em consideração o enquadramento teórico explanado nos capítulos anteriores. Procede-se também à descrição da amostra e instrumentos de recolha de dados, bem como das respetivas técnicas de análise de dados.

4.1. Combinação de métodos

O problema do presente estudo é investigar se a metodologia ABRP permite melhorar a aprendizagem dos estudantes, que frequentam a UC de GA no ensino superior, em termos de desenvolvimento de competências de questionamento, compreensão de conceitos e potenciação dos modos de conhecimento a partir de cenários problemáticos. Por outras palavras, e tendo por referência os critérios defendidos por Quivy e Campenhoudt (1998), foram enunciadas as seguintes questões de investigação:

Questão de investigação (Q1) - De que modo os diferentes tipos de cenários, utilizados na metodologia ABRP, contribuem para o desenvolvimento de competências de questionamento nos estudantes?

Questão de investigação (Q2) – Será que que a metodologia ABRP favorece a aprendizagem de conceitos científicos, por parte dos estudantes, na área de GA?

Questão de investigação (Q3) – Será que a ABRP promove o desenvolvimento dos modos de conhecimento (*ways of knowing*) mais complexos dos estudantes?

Saliente-se que a seleção da UC de GA se deveu, sobretudo, ao facto de a nossa área de formação de base englobar a Geologia e o seu ensino. Acresce que a GA se tem constituído como uma área científica em rápida expansão, na qual a abordagem da interação entre todos os subsistemas terrestres tem sido privilegiada, o que vem ao encontro de estudos largamente difundidos a nível internacional que defendem o ensino da geologia segundo uma perspetiva sistémica da Terra (Batzri, Assaraf, Cohen & Orion, 2015; Hansen, 2018; Shankar et al., 2017). A opção pela metodologia da ABRP prende-se com a aplicação dos princípios educativos associados ao século XXI, que relevam a utilização de métodos promotores do

envolvimento do estudante na construção do seu próprio conhecimento, atribuindo-lhe um papel de questionador crítico e argumentativo face aos problemas do quotidiano, apresentando simultaneamente capacidade de colaboração com os seus pares em diferentes contextos. Por outro lado, o ensino superior representa, geralmente, para os estudantes, o último degrau de educação e formação antes do ingresso numa vida de trabalho ativa, ou seja, pressupõe o desenvolvimento de modos de conhecimento mais complexos que integram uma maior flexibilidade de pensamento e que permitem lidar mais facilmente com perspetivas opostas ou contraditórias e de incerteza real face aos problemas complexos ou mal-estruturados. Assim, a finalidade desta investigação é contribuir para uma mudança nas metodologias de ensino e aprendizagem a nível do ensino superior promovendo a ABRP como uma metodologia capaz de surtir efeito positivo nos estudantes da área das ciências naturais.

Sob este desígnio, traçaram-se os seguintes objetivos específicos:

(1) Apreciar o tipo de questionamento dos estudantes face aos cenários problemáticos de GA;
(2) Analisar a construção de conhecimento substantivo, mediante a implementação de uma nova metodologia de ensino (ABRP), em comparação com a metodologia tradicional de ensino da UC;
(3) Avaliar a contribuição da metodologia da ABRP para os modos de conhecimento em estudantes de Ensino Superior.

De modo a dar resposta às questões de investigação e serem atingidos o objetivo geral e objetivos específicos propostos anteriormente, este estudo envolveu um total de quatro turmas de estudantes que frequentavam a UC da componente teórico-prática de GA, no primeiro semestre de 2012/2013. O critério de seleção das turmas foi não aleatório (dado que as mesmas estavam constituídas previamente devido a critérios organizacionais da própria instituição de ensino superior). Deste modo, duas turmas foram integradas no grupo experimental e as outras duas constituíram o grupo de comparação[13]. Note-se que esta distribuição foi realizada consoante questões de compatibilidade de horários de trabalho do docente regente da UC e da investigadora. Segundo Almeida e Freire (2008), em educação é habitual recorrer-se ao estudo de grupos em vez de amostras, uma vez que o número de efetivos considerados é menor e a metodologia de amostragem não é aleatória, ou

[13] Para McMillan e Schumacher (1989), por definição, o grupo de controlo não recebe qualquer tipo de tratamento (por exemplo, na comparação entre pessoas que fumam e pessoas que são não fumadoras). Contudo, num contexto educacional, partir do pressuposto que um grupo recebe um tratamento e outro não recebe absolutamente nada será irrealista. Assim, os autores defendem que se deve designar "grupo de comparação" em vez de "grupo de controlo".

seja, trabalha-se com grupos intactos. De acordo com Cohen, Manion e Morrison (2000), tratando-se de uma investigação de pequena escala, a amostra é não probabilística, sendo considerada de conveniência, dado que os parâmetros de generalização neste tipo de amostra são negligenciáveis. Os dois grupos em análise diferenciavam-se quanto ao tipo de metodologia de ensino e aprendizagem (ABRP vs tradicional). O grupo experimental foi submetido a um PI de nove semanas de duração, que pressupôs o recurso à metodologia da ABRP (grupo experimental), conforme descrito no capítulo III e as outras duas turmas envolvidas foram alvo da metodologia tradicional, ou seja, um ensino mais expositivo e centrado no professor (grupo de comparação). Em todas as turmas foram contemplados quatro trabalhos teórico-práticos referentes exatamente às mesmas temáticas: (1) vulcanologia e prevenção do risco vulcânico; (2) sismos – avaliação, previsão e prevenção; (3) abandono mineiro e dispersão de contaminantes em meio hídrico e (4) estabilidade das zonas de vertente.

Para a concretização deste estudo, optou-se pela combinação de métodos do tipo triangulação metodológica. No caso do método qualitativo, o objeto de estudo envolve as "intenções e situações, ou seja, trata-se de investigar *ideias*, de descobrir *significados* nas *ações individuais* e nas *interações sociais* a partir da perspetiva dos atores intervenientes no processo" (Coutinho, 2014, p. 26). No que concerne ao método quantitativo, este tem as suas raízes no paradigma positivista, o que pode implicar, entre outros aspetos, a avaliação de variáveis passíveis de serem medidas, comparadas e/ou relacionadas durante o processo de investigação empírica. A mesma autora recorre a vários exemplos da literatura, no que concerne às metodologias quantitativa e qualitativa, defendendo que a tendência atual é a de integração metodológica e não a de incompatibilidade ou oposição. Isto pode significar, por exemplo, recorrer a estratégias que variam de acordo com as questões de investigação e não com os paradigmas. Este processo de complementaridade que visa a construção do conhecimento, consoante a situação investigada, pode "minimizar a subjetividade e aproximar o pesquisador do objeto de estudo" (Vilelas, 2017, p.172). Os autores Paranhos, Filho, Rocha, Júnior e Freitas (2016), defendem que utilizando a abordagem integrada de métodos qualitativos e quantitativos (salvaguardando as devidas diferenças quanto aos respetivos objetivos, vantagens e limitações), resultam melhores possibilidades analíticas, bem como a produção de "inferências mais robustas sobre a realidade" (p. 407). Para além disso, este tipo de abordagem complementar, nas palavras de Vilelas (2017), aumenta a objetividade e

confere maior confiabilidade aos dados. Na mesma linha de pensamento, Fortin (2009) defende que a fiabilidade dos resultados sai beneficiada.

Assim sendo, a metodologia de investigação aplicada neste estudo baseou-se no pressuposto que a articulação entre os métodos quantitativo e qualitativo seria mais enriquecedora, permitindo uma maior diversidade de técnicas de recolha de dados, bem como de clarificação, análise e interpretação dos resultados obtidos auxiliando, simultaneamente, a validade e fiabilidade necessárias à prossecução do estudo. Neste âmbito, se nos reportarmos à primeira questão de investigação (Q1), esta será alvo de um estudo qualitativo, enquanto nos dois últimos casos será conduzido um estudo de natureza quantitativa (Q2 e Q3).

A questão de investigação (1) "De que modo os diferentes tipos de cenários, utilizados na metodologia ABRP, contribuem para o desenvolvimento de competências de questionamento?", tal como referido, foi submetida a um método de índole qualitativa e na análise de dados ou de informação recolhida foi usada a técnica de análise de conteúdo.

Para Lessard-Hébert, Goyette e Boutin (1994), a análise de conteúdo pode ser utilizada na triangulação de dados, cumprindo uma função de complementaridade. Segundo Quivy e Campenhoudt (1998, p. 227), os métodos de análise desta natureza baseiam-se "na presença ou ausência de uma característica ou o modo segundo o qual os elementos do discurso estão articulados uns com os outros". Os mesmos autores entendem que a análise de conteúdo tem vindo a aumentar a sua importância no campo metodológico e, de acordo com Esteves e colaboradores (2006), em estudos efetuados sobretudo na área educacional. Como vantagens mais relevantes da análise de conteúdo, Quivy e Campenhoudt (1998) sublinham o distanciamento face as interpretações pessoais do investigador, havendo possibilidade de controlo posterior da investigação devido à existência de registos. No caso do presente estudo, a análise de conteúdo recairá sobre as questões-problema elaboradas pelos estudantes quando confrontados com os diferentes cenários problemáticos ao longo do PI.

No que concerne ao estudo de natureza quantitativa desta investigação, este implica o recurso a um *design* do tipo quasi-experimental. Tal como defendem McMillan e Schumacher (1989), na investigação educacional, particularmente no que diz respeito ao estudo dos efeitos de metodologias de ensino-aprendizagem, a distribuição aleatória de sujeitos nos grupos experimentais e de controlo é geralmente

impossível, pelo que é frequente recorrer-se ao *design* do tipo quasi-experimental. Esta situação decorre do facto de não haver aleatoriedade na seleção dos sujeitos, pois as turmas são previamente estabelecidas por critérios organizacionais e, por consequência, consideradas grupos "intactos". Segundo Vilelas (2017), este tipo de investigação caracteriza-se por uma maior flexibilidade comparativamente ao método experimental puro, sobretudo nas "condições impostas pelas distribuições de probabilidade e inferências estatísticas para a população" (p. 284). Para este investigador, as vantagens do *design* quasi-experimental colmatam as dificuldades de aplicação do rigor subjacente ao método experimental; contudo, os resultados não poderão ser generalizáveis (leia-se da amostra à população), são menos conclusivos, existindo possibilidade de viés devido à sua validade limitada. Jesuíno (1999, p. 220) reforça esta ideia ao referir que a "não aleatorização" tem influência no "controlo das varáveis parasitas" o que, por consequência, se repercute na "validade interna das conclusões", sendo esta a principal característica que diferencia o *design* experimental do quasi-experimental. Ainda assim, segundo Jesuíno (1999), "na maioria dos casos, o experimentador não tem outra alternativa senão recorrer aos métodos quasi-experimentais, alternativa essa bem preferível à renúncia à experimentação" (p. 220).

Uma das condições subjacentes a um estudo de natureza quasi-experimental é o recurso à formulação de hipóteses. Estas podem ser encaradas como respostas provisórias e permitem a aplicação de um critério de seleção de dados pertinentes dentre todos aqueles que podem ser reunidos pelo investigador (Quivy & Campenhoudt, 1998). Ou seja, as hipóteses expressam uma antecipação ou consequências esperadas de resultados decorrentes da aplicação de princípios da teoria a uma situação, sendo a sua formulação mais restritiva relativamente a uma questão geral (Coutinho, 2011). Neste âmbito, pode considerar-se a hipótese - proposição que define uma possível relação entre duas variáveis - como a base de qualquer investigação quantitativa (Martins, 2011). É importante relembrar a existência de dois tipos de variáveis: independente e dependente. A primeira, geralmente manipulada pelo investigador, também é designada por Tuckman (2005) por "variável estímulo ou *input*", isto é, o "fator que é medido, manipulado e selecionado pelo investigador, para determinar a sua relação com um fenómeno observado" (p. 121). A variável independente vai induzir uma determinada consequência, traduzida numa "variável de resposta ou *output"* – a variável dependente que, nas palavras do autor já citado, "é o fator que é observado e medido, para determinar o efeito da variável independente" (p. 122). Ao ser manipulada uma variável independente, que Fortin (2009, p.139) exemplifica como podendo ser uma

"intervenção de tal forma que um grupo de sujeitos recebe o tratamento e outro não o recebe", a autora sublinha que o investigador deve exercer controlo na sua aplicação, garantindo condições idênticas de acordo com um plano prévio. Este plano ou desenho de investigação visa testar as hipóteses formuladas previamente para evitar enviesamentos que afetem os resultados obtidos. Concretizando, no presente estudo, o PI com recurso ABRP será a variável independente ou manipulada e os resultados obtidos no teste de conhecimentos constituirão a variável dependente.

Para a formulação das hipóteses do estudo quantitativo realizado, seguimos os pressupostos teóricos enunciados por Martins (2011, p. 93), no que concerne à distinção entre "hipóteses de investigação ou teóricas" e "hipóteses estatísticas – nula e alternativa". O primeiro tipo de hipótese referido, de índole teórica, "determina o foco da investigação e a relação entre as variáveis, que surgem no terceiro passo do processo de investigação", enquanto as hipótese nula e alternativa, situadas a nível estatístico, "relacionam-se com a decisão face aos resultados dos testes estatísticos".

De acordo com a mesma autora, um teste estatístico trabalha com duas hipóteses estatísticas: a hipótese nula (H_0) e a hipótese alternativa (H_1), sendo que a hipótese nula (H_0) assenta no pressuposto de que os resultados obtidos são fruto do acaso, enquanto a hipótese alternativa (H_1) defende que os resultados não são devidos ao acaso (mas sim à intervenção) tanto na amostra, como na população. Consoante o valor de probabilidade de significância, representado em estatística pela letra (p), se este for: elevado ($p>0.05$) a hipótese nula (H_0) é retida e conclui-se que os resultados não são significativos; baixo ($p<0.05$), a hipótese nula (H_0) é rejeitada e aceita-se a hipótese alternativa (H_1), neste caso para um nível de significância de 0.05 ou para um intervalo de confiança de 95%.

Continuando na linha de Martins (2011), apresentamos as hipóteses nula e alternativa para as duas questões de investigação alvo de estudos quantitativos (tabelas 4.1 e 4.2). As hipóteses de investigação e hipóteses estatísticas do estudo quantitativo ancoradas à segunda questão de investigação formulada, podem ser constatadas na tabela 4.1. A questão de investigação (Q2), pode ser perspetivada segundo a hipótese de investigação "*O ensino da GA através da ABRP é mais eficiente do que a metodologia tradicional no desenvolvimento de conhecimento substantivo por parte dos estudantes*", que será testada para aferir o desenvolvimento do conhecimento substantivo entre os grupos experimental e de comparação, bem como em diferentes momentos temporais dentro do mesmo grupo, antes e após a implementação PI.

Tabela 4.1. – Questão de investigação (Q2), hipótese de investigação, hipótese nula e hipótese alternativa do estudo quasi-experimental.

Questão de investigação	Hipótese de investigação	Hipótese Nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)
(Q2) Será que que a metodologia ABRP favorece a aprendizagem de conceitos científicos, por parte dos estudantes, na área de GA?	O ensino da GA através da metodologia ABRP é mais eficiente do que a metodologia tradicional no desenvolvimento de conhecimento substantivo por parte dos estudantes.	Não há diferença de desenvolvimento de conhecimento substantivo entre os estudantes do grupo experimental (submetidos à metodologia ABRP) e os estudantes do grupo de comparação (submetidos à metodologia tradicional).	Os estudantes do grupo experimental submetidos à metodologia ABRP) diferem dos estudantes do grupo de comparação (submetidos à metodologia tradicional) em termos de desenvolvimento de conhecimento substantivo.

No que diz respeito à questão de investigação (Q3), que interroga a eventual associação entre o tipo de metodologia de ensino e aprendizagem aplicada em contexto de sala de aula e a possibilidade de aumento dos modos de conhecimento (absoluto, de transição, independente e contextualizado) dos estudantes, emergiram as hipóteses de investigação, nula e alternativa, que seguidamente se descrevem (tabela 4.2.).

Tabela 4.2. – Questão de investigação (Q3), hipótese de investigação, hipótese nula e hipótese alternativa do estudo quasi-experimental.

Questão de investigação	Hipótese de investigação	Hipótese Nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)
(Q3) Será que a ABRP promove o desenvolvimento dos modos de conhecimento (*ways ok knowing*) mais complexos dos estudantes?	Os modos de conhecimento dos estudantes estão associados ao tipo de metodologia de ensino aplicada em contexto de sala de aula (ABRP ou metodologia tradicional).	Não há associação entre os modos de conhecimento dos estudantes e o tipo de metodologia de ensino aplicada em contexto de sala de aula (ABRP ou metodologia tradicional).	Há associação entre os modos de conhecimento dos estudantes e o tipo de metodologia de ensino aplicada em contexto de sala de aula (ABRP ou metodologia tradicional).

Esta hipótese de investigação foi alicerçada no pressuposto que metodologias de ensino e aprendizagem que promovem um papel mais interventivo do estudante, como o caso da ABRP, poderão eventualmente contribuir para modos de conhecimento mais complexos. Esta ideia baseia-se no facto de os estudantes terem de analisar situações-problema ou cenários que apelam ao confronto de opiniões, à

reflexão e à integração de diferentes pontos de vista, numa perspetiva colaborativa com os seus pares, ao invés de se constituírem apenas como meros recetores de informação, com menor oportunidade de questionar e de discutir as suas ideias.

4.2. Plano de investigação

O plano de investigação do presente trabalho desenvolveu-se em várias etapas, tendo em consideração os objetivos e hipóteses de investigação equacionados previamente. Recorde-se que, segundo Almeida e Freire (2008), a definição de um plano ou *design* de investigação deve ser a quarta etapa (de oito no total), ou seja, surge após a (1) definição de um problema e/ou questão de investigação; (2) revisão da literatura e (3) formulação das hipóteses.

Em termos gerais, traçaram-se duas fases de investigação e três domínios de estudo, decorrentes de cada uma das questões de investigação propostas, como se ilustra na tabela 4.3 e seguidamente se descrevem. Assim:

- Fase 1 – No grupo submetido à metodologia ABRP (grupo experimental), após o confronto com os cenários problemáticos, correspondentes aos quatro trabalhos teórico-práticos, os estudantes do grupo experimental (duas turmas no total) colocaram questões que também foram registadas pelo professor/tutor durante todo o processo de ensino aprendizagem com vista à análise de conteúdo.

O percurso investigativo orientado pela questão (Q1) do presente estudo foi assente na análise de conteúdo das questões-problema elaboradas pelos estudantes decorrentes dos diferentes cenários problemáticos explorados durante as aulas de GA. A categorização ou tipologia das questões foi previamente definida e adaptada com base em trabalhos de investigação elaborados por Carvalho e Dourado (2009), Dahlgren e Öberg (2001) e Palma e Leite (2006). Os autores citados recorrem à exemplificação de expressões características contidas em tipos de questões particulares que, por sua vez, são enquadrados segundo dois patamares de hierarquização de nível cognitivo: baixo e elevado. Este procedimento permite inferir a relação entre os tipos e o grau de complexidade das questões geradas pelos estudantes perante os cenários apresentados, assim como a sua evolução ao longo do PI.

- Fase 2 – Estudo de natureza quasi-experimental, entre dois grupos (um submetido a metodologia tradicional de ensino, constituindo o grupo de comparação e outro submetido à ABRP, isto é, grupo experimental), de modo a analisar:

- a influência da aplicação de uma metodologia de ensino diferenciada (ABRP) na evolução de conhecimento substantivo dos estudantes na área de GA (neste sentido, foi aplicado um pré e pós teste idêntico, respetivamente, antes e após o PI);

- a comparação entre os modos de conhecimento e domínios específicos para cada um dos grupos sob investigação, tendo por base a Medida de Reflexão Epistemológica de Baxter Magolda (MER, Baxter Magolda & Porterfield, 1985; versão portuguesa, Bastos & Faria, 2003).

Tabela 4.3. – Natureza do método de investigação, questões de investigação, momentos de avaliação, participantes, instrumentos de recolha de dados e técnicas de análise de dados das duas fases do presente estudo.

Fases do estudo	Natureza do método de investigação	Questões de investigação	Momentos de avaliação	Participantes	Instrumentos de recolha de dados	Técnicas de análise de dados
1ª Fase	Qualitativa. (Estudo descritivo)	(Q1) De que modo os diferentes tipos de cenários, utilizados na metodologia ABRP, contribuem para o desenvolvimento de competências de questionamento?	Durante o PI.	Estudantes (Grupo experimental).	Registo das questões-problema colocadas pelos alunos nas fichas de monitorização..	Análise de conteúdo.
2ª Fase	Quantitativa. (Estudo quasi-experimental)	(Q2) Será que que a metodologia ABRP favorece a aprendizagem de conceitos científicos, por parte dos estudantes, na área de GA?	Antes e após PI.	Estudantes (Grupo experimental vs Grupo de comparação).	Teste de conhecimentos (pré e pós-teste).	Análise estatística.
		(Q3) Será que a ABRP promove o desenvolvimento dos modos de conhecimento (*ways of knowing*) mais complexos dos estudantes?	Após PI.	Estudantes (Grupo experimental vs Grupo de comparação).	Questionário MER.	Análise estatística.

Com vista à operacionalização da fase 2 do estudo quasi-experimental, estabeleceu-se que a hipótese de investigação emergente da questão de investigação (Q2) seria testada em duas vertentes, conforme exposto na tabela 4.4.

Tabela 4.4. – Relação entre a questão de investigação, hipótese de investigação, *design* de investigação, estatuto das variáveis e técnicas de análise dos dados.

Questão de investigação	**Hipótese de investigação (H_1)**	***Design* de investigação**	**Estatuto das variáveis**	**Análise dos dados**
(Q2) Será que a metodologia ABRP favorece a aprendizagem de conceitos científicos, por parte dos estudantes, na área de GA?	Os estudantes do grupo experimental (submetidos à metodologia ABRP) diferem dos estudantes do grupo de comparação (submetidos à metodologia tradicional) em termos de desenvolvimento de conhecimento substantivo.	Inter-sujeitos ou Inter-grupo ("*between-subjects*") (Há diferenças significativas entre os grupos experimental e de comparação a nível da variável).	**Variável independente:** PI com recurso à ABRP **Variável dependente:** Conhecimento substantivo (comparação de resultados no teste de conhecimentos).	Teste estatístico para a análise das diferenças em contexto de *Design Inter-Sujeitos* (Teste de diferenças para amostras independentes).
		Intra-sujeitos ou Intra-grupo (*"within-subjects*") (Há diferenças significativas no grupo experimental a nível da variável, entre o pré e o pós-teste).	**Variável independente:** Momento temporal (antes e após PI – 9 semanas) **Variável dependente:** Conhecimento substantivo (diferença de resultados no teste de conhecimentos).	Teste de diferenças em contexto de *Design Intra-Sujeitos* (Teste estatístico para a análise de diferenças para amostras emparelhadas).

Assim sendo, o desenvolvimento do conhecimento substantivo nos estudantes das turmas de GA foi aferido:

(i) através de testes de diferenças em contexto de *design inter-sujeitos* ou *"between subjects"* (isto é, comparação entre grupos independentes – grupo de experimental, sujeito a ABRP e grupo de comparação, submetido à metodologia tradicional);

(ii) recorrendo a testes de diferenças em contexto de *design intra-sujeitos* ou "*within-subjects*" (isto é, dentro do mesmo grupo, verificar a diferença entre dois momentos distintos, em que cada grupo de indivíduos é comparado consigo mesmo entre o pré e o pós-teste – amostras emparelhadas).

Neste contexto, a variável independente foi o PI com recurso a ABRP (cuja aplicação se encontra descrita no capítulo III) e a variável dependente consubstancia-se no conhecimento substantivo construído pelos estudantes (aferido através dos resultados obtidos no teste de conhecimentos: pré e pós-teste).

No caso da questão de investigação (Q3), o enfoque dirigiu-se para a eventual associação entre modos de conhecimento mais complexos e o tipo de metodologia utilizada em contexto de sala de aula, administrando-se a MER como instrumento de recolha de dados. Assim, após a implementação do PI, foi solicitado aos estudantes que fundamentassem as suas posições, de modo pormenorizado, respondendo aquele questionário do tipo aberto. O quadro referencial da MER é o modelo de desenvolvimento epistemológico de Baxter Magolda (1992), que tem o propósito de classificar os modos de conhecimento (*ways of knowing*) de cada um dos estudantes ("absoluto", "transição", "independente" ou "contextual") nos seguintes domínios: papel do estudante, papel dos pares, papel do professor, papel da avaliação e natureza do conhecimento. Para além disso, pretendeu-se estabelecer uma comparação entre os modos de conhecimento e domínios específicos para cada um dos grupos sob investigação.

De realçar que se optou por não realizar uma aplicação MER antes do PI, para evitar uma sobrecarga de preenchimento de documentos (devido à duração de resolução do pré-teste de conhecimentos), uma vez que o tempo exigido para responder ao protocolo MER é bastante longo. Tencionou-se, assim, favorecer uma maior adesão dos participantes ao estudo. Assumiu-se que os grupos experimental e de comparação são equivalentes, avaliando após o PI os dois grupos no mesmo momento, estabelecendo-se que as diferenças a observar se devem às metodologias de ensino-aprendizagem. O estudo quantitativo realizado implicou o recurso a testes estatísticos (nomeadamente o teste exato de Fisher) em que as variáveis em análise foram os modos de conhecimento e as metodologias de ensino e aprendizagem aplicadas consoante o grupo de pertença (experimental ou de comparação). No entender de Martins (2011, p. 131), este tipo de teste "não permite sob nenhuma circunstância, retirar ilações acerca das relações causa-efeito entre as variáveis em

causa" ou sequer referenciar "variáveis independentes e dependentes", dada a ausência de causalidade entre variáveis.

4.3. Amostra

A amostra deste estudo era constituída pelos estudantes inscritos (n=82) e a frequentar as aulas teórico-práticas da unidade curricular de GA, no ano letivo de 2012/2013. Os participantes pertenciam a quatro turmas diferentes. Destas, duas foram consideradas como grupo experimental (turmas 1 e 4), sujeitas ao PI, e as outras duas (turmas 2 e 3) foram designadas como grupo de comparação. No entanto, para efeitos de análise dos dados quantitativos, incluem-se apenas os indivíduos participantes que preencheram todos os instrumentos estabelecidos para recolha de dados, em todas as fases do processo (pré-teste, pós-teste e MER), ou seja, n=33.

A caracterização sociodemográfica dos participantes da amostra encontra-se expressa na tabela 4.5., tendo-se considerado os fatores sociodemográficos - sexo, idade, curso e ano curricular – conforme tendência da investigação no domínio.

Tabela 4.5. - Caracterização sociodemográfica dos participantes no estudo.

		Grupo Experimental (n=16)		**Grupo de Comparação (n=17)**		**Total (n=33)**	
		f	%	f	%	f	%
Sexo	Feminino	6	37.5	9	52.9	15	45.5
	Masculino	10	62.5	8	47.1	18	54.5
Idade	M(DP)	21.56 (2.943)		19.94 (1.029)		20.72 (2.295)	
	Min - Max	19 - 29		19 - 22		19 - 29	
Curso	CTA	6	37.5	13	76.5	19	57.6
	Geologia	6	37.5	4	23.5	10	30.3
	Biologia	4	25.0	0	0	4	12.1
Ano curricular	2º	7	43.8	9	52.9	16	48.5
	3º	9	56.3	8	47.1	17	51.5

Legenda: CTA – Ciências e Tecnologia do Ambiente; f – frequência; M – média; DP – desvio padrão; Min – mínimo; Max - máximo

Relativamente ao género, observa-se que o grupo experimental era constituído por 6 mulheres (37.5%) e por 10 homens (62.5%). Do grupo de comparação, faziam parte 9 mulheres (52.9%) e 8 homens (47.1%). Em termos totais, trata-se de uma

amostra com ligeira predominância do sexo masculino, com 18 homens (54.5%) e 15 mulheres (45.5%).

No que se refere à idade, a média de idades no grupo experimental variava de 19 a 29 anos, com uma média aproximada de 21.56 anos, sendo o desvio padrão de 2.943. No grupo de comparação, a idade variava entre 19 e 22 anos e tinha uma média aproximada de 19.94 anos, com um desvio padrão de 1.029. Ou seja, tendencialmente os estudantes deste grupo são mais novos do que o grupo referido anteriormente.

Quanto ao curso, no grupo experimental, 6 estudantes (37.5%) frequentavam o curso Ciências e Tecnologia do Ambiente (CTA), 6 pertenciam a Geologia (37.5%) e 4 frequentavam Biologia (25.0%). No grupo de comparação, existiam 13 estudantes no curso de CTA (76.5%) e 4 no de Geologia (23.5%). Assim, o ensino dito tradicional foi ministrado predominantemente aos estudantes do curso de CTA, enquanto no grupo experimental, os estudantes de CTA, Geologia e Biologia, estavam em número aproximadamente equivalente.

Em relação ao ano curricular, no grupo experimental contavam-se 7 estudantes (43.8%) no segundo ano e 9 estudantes (56.3%) no terceiro ano. No grupo de comparação, existiam 9 participantes (52.9%) no segundo ano e 8 participantes (47.1%) no terceiro ano. Assim sendo, em ambos os grupos existiam estudantes do segundo e terceiro anos a frequentar a UC de GA.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolha de dados

Após a opção pelo tipo de estudo a realizar, segue-se a seleção das técnicas e instrumentos que permitirão obter dados a fim de se extrair a informação relevante (Vilelas, 2017). No âmbito deste estudo, foram utilizados os seguintes instrumentos de recolha de dados: (1) fichas de monitorização destinadas ao registo das questões-problema colocadas pelos estudantes, (2) teste de conhecimentos em GA e (3) questionário MER.

4.4.1. Registo das questões colocadas pelos estudantes durante as aulas

A implementação do PI pressupôs a exploração de quatro cenários problemáticos recorrendo à metodologia ABRP, enquadrados segundo os temas dos trabalhos teórico-práticos da UC de GA. No decorrer de cada processo cíclico inerente à própria metodologia de ensino, foi solicitado aos estudantes que, em grupo, formulassem todas as questões que considerassem adequadas para a resolução de cada situação problemática apresentada. Estas questões foram registadas em ficha própria. Depois da elaboração das questões-problema, estas foram lidas à turma, pelo porta-voz de cada grupo, procedendo-se à eliminação de questões repetidas ou irrelevantes para o assunto em causa. De referir que as questões repetidas por diferentes grupos foram registadas uma única vez, pois apenas se pretendia realizar um estudo sob o ponto de vista qualitativo; por outro lado, as que foram consideradas marginais para o processo, foram respondidas de imediato pelo mediador, à semelhança do que recomendam Vasconcelos e Almeida (2012). Foi então elaborada uma súmula de todas as questões indicadas pelos estudantes, sendo estas projetadas em tempo real para a turma, por parte do professor tutor, utilizando um computador e um programa de escrita de texto.

Atendendo a Vieira e Vieira (2005)

> "O sumariar do que parece ter sido estabelecido e as questões que continuam sem resposta constitui um grande avanço no esclarecimento da questão em causa e promove, muitas vezes, um maior e mais claro avanço da mesma, evitando a discussão em circularidade". (p. 51)

Após esta recolha, em termos de análise de dados, iniciou-se um procedimento fechado de categorização das questões-problema elaboradas pelos estudantes tendo por referência modelos disponíveis na literatura da especialidade. Neste contexto, refira-se o trabalho de Dahlgren e Öberg (2001), plasmado num estudo qualitativo levado a efeito num curso sobre Ciências do Ambiente, ministrado de acordo com a metodologia ABRP, de dez semanas de duração, numa universidade sueca, que categorizou as questões formuladas pelos estudantes em cinco tipos: (1) enciclopédicas ("*encyclopaedic"*), (2) de compreensão ("*meaning-oriented*"), (3) relacionais ("*relational*"), (4) de avaliação ("*value-oriented*") e (5) de procura de solução ("*solution-oriented*"). Palma e Leite (2006) assim como Vilaça e Morgado (2013), sistematizaram a taxonomia de Dahlgren e Öberg (2001), definindo as características diferenciadoras das categorias mencionadas da seguinte forma: (1) questões cuja

resposta é simples e direta, por vezes apenas afirmativa ou negativa, geralmente resultante de expressões interrogativas que procuram saber "o quê", "quem" ou "onde"; (2) questões cuja resposta envolve a procura de significado de conceitos de forma indireta e geralmente e são iniciadas por expressões como "por que razão…"; (3) questões que apelam à relação entre conceitos, como causas e consequências, lidando com várias dimensões e que incluem termos como "influência" ou "efeito"; (4) questões que implicam graus de comparação e critérios de avaliação no que se refere a "melhor" ou "pior" e (5) questões que suscitam a procura de soluções concretas para problemas complexos e abstratos, utilizando interrogações como "o que se pode fazer acerca de…" ou "como se pode alcançar…".

Saliente-se que autores como Chin e Kayalvizhi (2002), por exemplo, defendem a existência de duas categorias básicas: questões não investigáveis e questões investigáveis. O primeiro tipo inclui perguntas sobre: informação básica, informação mais complexa e questões filosóficas ou religiosas; o segundo tipo diz respeito a casos de comparação, causa-efeito, previsão, projeção-concretização e exploração. De algum modo, este modelo partilha a visão de Dahlgren e Öberg (2001) relativamente à maior complexidade das questões investigáveis face a outro tipo de questões. O modelo empírico de Dahlgren e Öberg (2001) foi adotado por vários estudos de âmbito nacional. Refira-se, a este propósito, os trabalhos de Amado (2015), Carvalho e Dourado (2009), Dourado e Leite (2010), Loureiro (2008), Oliveira (2008), Palma e Leite (2006), Pinto, Torres, Moutinho, Almeida e Vasconcelos (2015), bem como Vilaça e Morgado (2013).

Tabela 4.6 – Resenha das principais tipologias de questões.

Nível cognitivo de complexidade	Subcategorias	Expressões típicas
Ordem inferior ou Questões reprodutivas	Questões enciclopédicas / de duplicação / de informação básica / de conhecimento / factuais	*O que…?* *Quem…?* *Onde…?*
Ordem superior ou Questões produtivas	Questões de compreensão	*Porque é que…?* *Como é que…?* *Qual a função de…?*
	Questões de relação / de explicações / de análise	*Qual o efeito de…?* *Qual a consequência de…?*
	Questões de avaliação / de comparação / de juízo de valor	*Qual o pior…?* *Porque é mau…?* *Qual o melhor…?* *O que têm em comum…?* *Em que são diferentes…?*
	Questões de procura de soluções	*Como se pode resolver…?*
	Questões de aplicação / de previsão / de cenários imaginários	*O que é que acontece se…?* *Será que…?* *É possível que…?*

(Adaptado de Carvalho e Dourado, 2009, p. 36).

Por exemplo, Carvalho e Dourado (2009) desenvolveram uma resenha dos principais tipos de questões colocadas pelos estudantes, fazendo o cruzamento entre a nomenclatura usada por vários autores, que seguidamente se apresenta (tabela 4.6). Esta tabela constituirá a referência adotada para classificar as questões formuladas pelos estudantes na ficha de monitorização distribuída em cada um dos cenários.

A análise da tabela evidencia que apenas as questões enciclopédicas são consideradas de ordem inferior ou questões reprodutivas, no que concerne ao nível cognitivo atingido, enquanto as restantes se enquadram na categoria de "ordem superior ou questões produtivas". Segundo Dourado e Leite (2010), as questões mais relevantes no âmbito da ABRP são as de avaliação e as de procura de solução.

4.4.2. Teste de conhecimentos

O objetivo do uso do teste de conhecimentos (Apêndice V) teve como propósito aferir o domínio dos conteúdos científicos na área da GA, tentando estabelecer um nexo de causalidade a partir do uso da metodologia ABRP no grupo experimental relativamente aos resultados obtidos no grupo de comparação, sujeito à metodologia tradicional.

De acordo com Coutinho (2014), dependendo da variável que se pretende medir, pode-se recorrer a vários tipos de instrumentos, desde questionários (que podem revestir-se do tipo escala ou inventário), passando por observações, entrevistas e testes de conhecimentos, sendo estes últimos tipicamente "utilizados pelos professores em diferentes disciplinas curriculares" (p. 109). Não obstante, para Lessard-Hébert e colaboradores (1994), que se baseiam nos trabalhos de De Bruyne e colaboradores (1975), na área da educação, no que diz respeito ao modo de recolha de dados, os testes escritos (pré e pós-testes) aplicados a estudantes fazem parte do modo de inquérito por questionário (escrito). Neste caso concreto, as questões elaboradas podem ser agrupadas em: fechadas (número limitado de respostas), abertas (respostas livres) ou preformadas (representado um compromisso entre os tipos anteriores). O pré e o pós-teste de avaliação de conhecimentos foram validades previamente, sob o ponto de vista científico e pedagógico, por dois especialistas com formação em ABRP e GA, que também aferiram a respetiva proposta de critérios de correção. Houve alguns reajustes no que diz respeito à utilização de terminologia científica mais adequada e reformulação de questões sob o ponto de vista pedagógico.

A elaboração do teste de conhecimentos teve por base os conteúdos programáticos a serem desenvolvidos durante as aulas, encontrando-se dividido num total de cinco grupos de questões, de acordo com as seguintes temáticas: Grupo I – Vulcanologia e prevenção do risco vulcânico; Grupo II – Sismos: avaliação, previsão e prevenção; Grupo III – Estabilidade das zonas de vertente; Grupo IV – Abandono mineiro e dispersão dos contaminantes em meio hídrico e Grupo V – Erosão Costeira.

O teste contemplava um conjunto de trinta questões, tendo-se estipulado o tempo máximo de sessenta minutos para a sua resolução. Este tempo limite foi adequado, uma vez que nenhum aluno requereu tempo extra para completar o teste. O tipo de questões abrangeu itens de seleção (designadamente escolha múltipla, ou seja, resposta fechada), resposta preformada e resposta aberta. O maior número de questões era do tipo fechado com o intuito de limitar a ambiguidade da sua classificação e objetivar os dados recolhidos. Para além disso, foram incluídas questões com níveis cognitivos distintos - questões reprodutivas (ou de reduzido nível cognitivo) e questões produtivas (ou de elevado nível cognitivo).

Todos os temas foram abordados durante a componente teórico-prática da UC; contudo, nas duas turmas de estudantes pertencentes ao grupo experimental, apenas os temas dos quatro primeiros grupos de questões foram integrados no PI, tendo sido o último tema (Grupo V - erosão costeira) abordado nas aulas, recorrendo à metodologia tradicional, ou seja, usualmente aplicada na UC no conjunto das quatro turmas. Este grupo diferencia-se dos demais por ser constituído como um conjunto de questões de nível cognitivo superior que deverá apelar a um raciocínio de ordem mais procedimental e abstrato, sendo os estudantes de todas as turmas colocados perante uma situação baseada em factos reais e para a qual terão de sugerir soluções.

O teste de conhecimentos em GA foi construído após familiarização com o programa da UC e dos trabalhos teórico-práticos desenvolvidos em anos letivos anteriores, bem como recorrendo à consulta e seleção de bibliografia oficialmente recomendada no programa curricular. Todos os grupos de questões tiveram como suporte pedagógico situações verídicas ou hipotéticas, que apelavam ao raciocínio crítico dos alunos, sendo estes confrontados no início de cada grupo de questões, com um enquadramento do tema com vista à sua problematização, através do recurso a pequenos textos, figuras ou tabelas para análise.

Em termos estruturais, o Grupo I de questões, referente à temática “Vulcanologia e prevenção do risco vulcânico” comportava um total de seis perguntas, sendo quatro de escolha múltipla e duas de resposta preformada. Neste grupo, o estudante era confrontado com a problemática da ocupação crescente das zonas de

risco vulcânico, tendo de analisar um mapa hipotético de uma região com vários povoamentos ameaçados por uma potencial erupção vulcânica. Através das questões propostas, os estudantes teriam de conhecer a realidade portuguesa no que concerne a regiões consideradas atualmente sujeitas a perigosidade vulcânica, refletir sobre as consequências das erupções vulcânicas e fatores que levam as populações a permanecer em áreas perigosas, assim como enunciar métodos que servissem de base à construção de cartas de risco vulcânico.

O Grupo II, referente à temática "Sismos: avaliação, previsão e prevenção", continha um total de oito questões, sendo quatro de resposta fechada (escolha múltipla) e quatro de resposta preformada. Este grupo de questões foi construído tendo por base o enquadramento geotectónico da Turquia, em particular a falha da Anatólia, que apresenta similaridades com a falha de Santo André, na Califórnia, nos E.U.A. As questões foram direcionadas para a classificação das falhas, localização do epicentro de um sismo, fenómenos precursores sísmicos, prevenção das consequências dos sismos; Teoria das Lacunas Sísmicas; vantagens e desvantagens da previsão sísmica e importância da construção antissísmica na prevenção de vítimas.

O terceiro grupo de questões, dedicado à "Estabilidade das zonas de vertente", englobava dez questões distribuídas entre quatro de escolha múltipla e seis de resposta preformada. O grupo III teve como ponto de partida uma notícia sobre os movimentos de vertente ocorridos no Rio de Janeiro. As questões incidiram sobre as causas dos deslizamentos e parâmetros que os influenciam, assim como consequências da ocupação antrópica que possam ter contribuído para a situação em causa e medidas corretivas adequadas para a prevenção de movimentos de vertentes. Para além disso, foi incluída uma situação experimental, na qual se pretendia averiguar o efeito da água na estabilidade das vertentes.

O quarto grupo de questões, sobre "contaminação mineira" relacionava-se com uma reportagem de uma revista de publicação mensal de divulgação científica dirigida ao grande público, sobre a mina de São Domingos, no Alentejo, localizada na Faixa Piritosa Ibérica. Para além disso, era fornecida uma tabela respeitante à análise química de sedimentos na área envolvente da mina. As questões formuladas incidiram sobre a influência da drenagem ácida da mina na contaminação dos lençóis freáticos e impacte ambiental daí resultante, bem como medidas que deveriam ser promovidas para recuperação da área mineira.

O quinto e último grupo de questões encontrava-se direcionado para a temática da "erosão costeira" ao longo da costa portuguesa, problematizando uma situação real

através de um diálogo fictício entre personagens. Para reforçar esta dinâmica de escrita, entendeu-se usar também como suporte fotos retiradas de um jornal de circulação diária (Jornal de Notícias), que comparavam a erosão na praia de S. Bartolomeu do Mar, entre 1965 e 2009, evidenciando o grau de recuo da linha de costa ao longo do tempo. Todas as questões formuladas neste grupo (seis no total) tinham maior grau de liberdade de resposta face aos grupos anteriores, permitindo uma maior exposição do raciocínio do estudante e apelando a uma postura crítica e baseada em evidências.

4.4.3. Medida de Reflexão Epistemológica (MER) de Baxter-Magolda

A Medida de Reflexão Epistemológica (MER - Baxter Magolda & Porterfield, 1985, 1992) foi traduzida, adaptada e validada para a versão portuguesa por Bastos e Faria (2003). Uma vez que este instrumento (Apêndice VII) já tinha sido aplicado a estudantes do ensino superior, não houve necessidade de proceder a adaptações da forma ou do conteúdo. Optou-se pelo questionário MER devido a várias razões, entre as quais se destacam: (1) ter sido previamente aplicado em diversos estudos de âmbito internacional e nacional; (2) estar traduzido na língua materna por especialistas da área; (3) estar direcionado para estudantes do ensino superior; (4) ser um questionário que é bastante rico sob o ponto de vista de detalhe das respostas elaboradas pelos estudantes e (5) permitir aferir domínios diretamente relacionados com o contexto de sala de aula, nomeadamente o tipo de aulas, papel do professor, colegas, avaliação e natureza do conhecimento.

A MER constitui-se como um instrumento elaborado para avaliar um quadro de referência teórico relativo aos modos de conhecimento (*ways of knowing*), nomeadamente, as suposições do indivíduo relativamente à natureza, limites e certeza do conhecimento, categorizados em quatro graus de progressão: (1) modo de conhecimento absoluto; (2) modo de conhecimento de transição; (3) modo de conhecimento independente e (4) modo de conhecimento contextual, respeitantes a cinco domínios: (A) o papel do aluno; (B) o papel dos colegas; (C) o papel do professor; (D) a avaliação e (E) a natureza do conhecimento (Baxter Magolda, 1992; Faria et al., 2015).

Note-se que a versão escrita da MER surgiu como um complemento a entrevistas desenhadas por Baxter Magolda para aferir os modos de conhecimento de

101 estudantes da Universidade de Miami, que foram colocados em 1986 naquela instituição superior de ensino público americana. Este estudo teve natureza longitudinal e o número de estudantes participantes foi decrescendo de ano para ano, sendo que 59 colaboraram até ao seu ano de graduação (quarto ano) e 11 fizeram a graduação no quinto ano do curso, perfazendo um total de 70 participantes no final da experiência. As entrevistas eram realizadas anualmente, até ao término do curso e graduação dos estudantes. Após a realização das entrevistas, os estudantes teriam de esperar duas semanas para responder ao questionário MER, que seria devolvido num prazo máximo de três meses. Segundo a autora, a precisão (*accuracy*) do questionário MER foi apoiado em estudos previamente realizados que demonstraram diferenças consistentes e significativas entre níveis de escolaridade e uma correlação de 0.93 com as entrevistas (Baxter Magolda & Porterfield, 1988; Baxter Magolda, 1987, citados em Baxter Magolda, 1992). Para a autora, apesar de a versão escrita da MER não permitir uma informação tão pormenorizada como a entrevista, pode ser considerada uma fonte adequada de obtenção de dados sobre o desenvolvimento epistemológico / complexidade cognitiva dos estudantes, pelo que consideramos que a sua utilização seria adequada no presente estudo.

A MER encontra-se estruturada segundo blocos independentes de questões abertas referentes a cada um dos domínios acima referidos, sendo cada bloco composto por quatro questões (no caso do domínio da “avaliação da aprendizagem” e “natureza do conhecimento”) ou cinco questões (domínios restantes) ordenadas do geral para o particular. Cada bloco começa com uma questão de caráter mais geral ou de ensaio sobre uma determinada afirmação. O desdobramento das questões seguintes foca-se na justificação das razões que presidiram à resposta inicial, permitindo o desenvolvimento do raciocínio subsequente, para ser possível a identificação de um modo de conhecimento particular. Em termos de aspeto visual, as perguntas têm espaços pronunciados entre si para convidar a respostas mais elaboradas (Baxter Magolda, 1992; Faria et al., 2015). Tal como refere Baxter Magolda (1992), as explicações ou justificações apontadas tornam-se a base para interpretar a razão de “como” (*how*) as pessoas pensam e “porquê” (*why*) e não somente “o quê” (*what*). Ou seja, de acordo com Faria e colaboradores (2015), são estas justificações apresentadas que constituem o enfoque do processo de codificação que leva à identificação dos diferentes modos de conhecimentos (*ways of knowing*).

Dois juízes independentes encarregaram-se de avaliar as respostas dadas à MER, o que incluiu a identificação dos modos de conhecimento (quatro no total) relativos a cada um dos domínios (cinco no total), tendo por base a estrutura de

raciocínio das respostas, sendo esta classificação depois apoiada pelo manual de cotação da MER (traduzido e adaptado para português). Após este procedimento, era atribuída uma classificação geral que refletia uma média das classificações por domínio. Esta atuação foi estabelecida conforme o instituído por Baxter Magolda (1992). Deste modo, segundo a autora, a comparação das classificações realizada no final entre os dois juízes limitou o viés devido às diferentes interpretações. Para além disso, à semelhança de Faria e colaboradores (2015), nos casos em que se verificou desacordo quanto à classificação atribuída, os juízes discutiram a situação e chegaram a uma classificação de compromisso, não sendo necessária a intervenção de um auditor ou terceiro juiz.

4.5. Técnicas de análise da informação recolhida

A recolha de dados foi efetuada durante o primeiro semestre letivo de 2012/2013, em quatro turmas que frequentavam as aulas teórico-práticas da UC de GA. No que concerne à vertente mais empírica deste trabalho, inicialmente procedeu-se à construção dos materiais didáticos utilizar no PI.

Num primeiro contacto, todos os estudantes presentes foram informados sobre o objetivo geral do presente estudo e nenhum se recusou em participar.

No que diz respeito à primeira fase do estudo, no qual foi aplicado o método qualitativo, decorrente da questão de investigação (Q1), procedeu-se a uma diferenciação dos dados obtidos, isto é, classificaram-se as perguntas formuladas pelos alunos, perante os diferentes cenários, segundo classes ou categorias previamente estabelecidas. Note-se que Esteves (2006) considera que as categorias podem ser geradas segundo procedimentos abertos (indutivos) ou fechados (dedutivos). Para a autora, no primeiro tipo de procedimentos referido, a categorização emerge a partir do próprio material recolhido, de modo indutivo, isto é "caminha-se dos dados empíricos para a formulação de uma classificação que se lhes adeque" (p. 110). No segundo caso, existe uma lista prévia de categorias apropriada ao objeto em estudo para classificar os dados. Atendendo a que a classificação das questões-problema geradas pelos estudantes do grupo experimental será realizada *a posteriori* de acordo com estudos publicados previamente na literatura por Dahlgren e Öberg

(2001), Palma e Leite (2006) e Carvalho e Dourado (2009), consideramos este procedimento do tipo "fechado".

No que concerne à segundo fase do estudo, de índole quantitativa, este implicou a aplicação de dois instrumentos de recolha de dados: teste de conhecimentos e questionário MER.

Quanto ao teste de conhecimentos em GA, efetuou-se a sua distribuição pelos estudantes do grupo experimental e do grupo de comparação no primeiro dia de aulas da UC de GA. Solicitou-se que lessem com atenção todas as questões do enunciado, sensibilizando para a importância de não deixarem itens propositadamente em branco, especialmente nas respostas que exigiam uma escrita mais elaborada devido à complexidade das questões. Após esta recomendação e findos os esclarecimentos de dúvidas pontuais por parte dos alunos, deu-se início à resolução do teste de conhecimentos em GA (pré-teste) de forma individual, o que foi assegurado com a devida distância física entre estudantes. O mesmo tipo de procedimento foi aplicado no pós-teste, na última sessão do PI.

O PI decorreu durante nove semanas e passou pela aplicação da metodologia de ensino ABRP a quatro trabalhos teórico-práticos, relacionados com os temas já referidos no capítulo III. Os temas eram comuns aos dois grupos – experimental e de comparação – diferindo a metodologia aplicada e o tipo de materiais fornecidos aos alunos. Foi facultada aos estudantes do grupo experimental, simultaneamente com os enunciados dos problemas das fichas de trabalho, uma panóplia de documentos que poderiam ser utilizados como base de apoio de pesquisa bibliográfica, não invalidando a pesquisa autónoma por parte dos estudantes nos assuntos abordados. Estes documentos eram referentes a partes de livros ou artigos científicos disponíveis na biblioteca de Geologia da FCUP.

No final do PI, para além de ser aplicado novamente o teste de conhecimentos (pós-teste), foi acrescentada a MER. Note-se que estes instrumentos foram aplicados conjuntamente no final do PI, uma vez que a aplicação do teste de conhecimentos e da MER no início do PI tornariam o protocolo muito extenso e demorado, tal como referido anteriormente.

O pré e o pós-teste, tal como referido anteriormente, eram iguais e foram ambos corrigidos pela investigadora, para evitar enviesamentos na avaliação.

A análise dos dados recolhidos referente ao estudo quasi-experimental foi efetuada com recurso ao software *SPSS Statistics*, versão 25. A seleção dos testes estatísticos a serem realizados teve em consideração os objetivos do estudo e a natureza das variáveis a analisar. Neste sentido, para a caracterização da amostra

recorreu-se a medidas de tendência central e de dispersão (no caso das variáveis contínuas) e a frequências absolutas e relativas (no caso das variáveis categóricas).

Com vista à análise estatística inferencial foram usados diferentes testes estatísticos não paramétricos para comparar as distribuições em estudo: teste de Mann-Whitney, para comparação de dois grupos independentes; teste de Kruskal-Wallis para comparação de mais de dois grupos independentes e teste de Wilcoxon para comparação de amostras emparelhados (evolução do pré-teste para o pós-teste). Adicionalmente, foi aplicado o teste exato de Fisher para avaliar o quão provável é que uma diferença observada pode acontecer ao acaso. Para comparar os grupos, foi ainda usada a média e desvio padrão. Em todos os procedimentos estatísticos, o valor de significância fixado foi de 0.05.

De realçar que todos os estudantes assinaram uma autorização de consentimento informado para participarem nesta investigação. Tal como Lima (2006) advoga, "o princípio fundamental para a aceitabilidade ética de um estudo é o do consentimento informado: o de os participantes serem informados da natureza e do propósito da pesquisa, dos seus riscos e benefícios, e de consentirem em participar sem coerção" (p. 142). Fortin (2009) entende que a linguagem utilizada neste campo de ação deve estar ao alcance de todos, ser compreensível e direta. Para além disso, tal como Lima (2006), a autora também sublinha que, para se alcançar uma participação livre e informada, deve ser realizada a descrição do estudo, objetivos e informações sobre o projeto de investigação. Todas estas indicações, assim como as instruções de preenchimento, foram reforçadas aquando da aplicação dos instrumentos de medida. Garantiu-se ainda o anonimato através da atribuição de um número de código e a confidencialidade nos instrumentos recolhidos para o subsequente tratamento dos dados.

Capítulo V

Apresentação e discussão dos resultados

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos e procede-se à sua discussão. Inicia-se com a análise de conteúdo das questões colocadas pelos estudantes perante cada um dos cenários problemáticos aplicados em de sala de aula. Em seguida, analisa-se a evolução da aprendizagem no domínio do conhecimento em estudo – Geologia e Ambiente. Posteriormente, procede-se à identificação dos modos de conhecimento dos estudantes, ou seja, analisa-se a sua complexidade de pensamento. Por último, empreende-se a discussão dos resultados obtidos tendo por referência estudos publicados a nível nacional e internacional.

5.1. Análise das questões colocadas pelos estudantes

Na investigação realizada no presente estudo, a questão de investigação (Q1) "*De que modo os diferentes tipos de cenários, utilizados na metodologia ABRP, contribuem para o desenvolvimento de competências de questionamento nos estudantes*?" foi abordada através de procedimentos qualitativos. Neste sentido, os estudantes formularam, em grupos de trabalho, questões relativas aos quatro cenários dos trabalhos teórico-práticos aplicados durante a aulas da UC de GA. O registo destas questões constituiu o ponto de partida para o estudo de natureza qualitativa, no qual se recorreu à técnica de análise de conteúdo, seguindo um procedimento fechado de categorização (Esteves, 2006), cujo resultado consta da tabela 5.1. Como se pode observar, em todos os cenários elaboraram-se questões pertencentes a todas as categorias, à exceção do cenário 1 "Vulcanologia e prevenção do risco vulcânico" (que não desencadeou de procura de soluções) e do cenário 4 - "Estabilidade de zonas de vertente" (sobre o qual os estudantes não elaboraram questões de compreensão). Observa-se, igualmente, uma evolução positiva no cômputo de questões desde o primeiro até ao último cenário, havendo na globalidade um predomínio da categoria das questões produtivas ou de elevado nível cognitivo em detrimento das questões reprodutivas ou de reduzido nível cognitivo (representadas unicamente pela subcategoria das questões enciclopédicas). Em termos de análise das subcategorias, destacaram-se em primeiro lugar as questões de relação, seguidas das questões enciclopédicas, questões de avaliação, questões de aplicação, questões de compreensão e questões de procura de soluções.

Tabela 5.1. – Categorização das questões colocadas pelos estudantes face aos cenários problemáticos dos trabalhos teórico-práticos na UC de GA.

Nível cogni-tivo	Subcategorias	TP1 – Vulcanologia e prevenção do risco vulcânico	TP2 – Sismos – avaliação, previsão e prevenção	TP3 – Abandono mineiro e dispersão de contaminantes em meio hídrico	TP4 – Estabilidade das zonas de vertente
Questões reprodutivas/ Reduzido nível cognitivo	Questões enciclopédicas	*O vulcão do Corvo é considerado ativo?* *Qual a história geológica do Corvo?* *Qual o enquadramento geotectónico do Corvo?* *Onde se situa a população mais próxima relativamente ao vulcão?*	*O que é a Teoria das Lacunas Sísmicas?*	*Quais são os elementos químicos que estão a poluir a Ribeira da Castanheira?*	*Quais são as causas dos movimentos de terreno?*
Questões produtivas/Elevado nível cognitivo	Questões de compreensão	*Como se elabora uma carta de risco vulcânico e quais os parâmetros necessários à sua construção?*	*Como determinar o epicentro de um sismo?* *Como determinar a magnitude de um sismo?* *Como analisar um sismograma?* *Qual o contributo da sismicidade histórica para a análise do risco sísmico?* *Por que razão Loma Prieta foi afetada por um sismo?*	*Por que razão a área da mina abandonada não foi intervencionada mais cedo?* *Por que razão a Ribeira da Castanheira apresenta uma coloração alaranjada?* *Como determinar o impacte dos diferentes elementos químicos na poluição ambiental?*	*Não se observa.*
	Questões de relação	*O que aumenta o risco vulcânico?* *O que influencia o tipo de vulcão?*	*Qual o risco para as populações que vivem próximo da falha de Santo André?* *Qual a relação entre a chegada das ondas P e S?* *Qual a relação entre a profundidade da origem de um sismo e a sua influência nos estragos causados?* *Em que medida a geologia do terreno influenciou a propagação das ondas sísmicas?* *Qual a relação entre o desenvolvimento do país e o tipo de prevenção que se faz?*	*Qual o impacte da poluição na fauna e flora da Ribeira da Castanheira?* *Quais as consequências para a saúde pública resultantes da poluição causada pela escombreira?* *Qual o impacto ao nível da biosfera decorrente da poluição causada pela escombreira?* *Quais as consequências deste tipo de poluição para a população envolvente?*	*Qual a influência da chuva ou de outras condições atmosféricas no caso dos movimentos de massa?* *Qual a influência do coberto vegetal na ocorrência dos movimentos de massa?* *Qual a influência do Homem nos movimentos de massa?* *Qual a influência do tipo de solo nos movimentos de massa?* *Quais os fatores que mais influenciam os movimentos do terreno e em que medida os influenciam?* *Quais são as consequências dos deslizamentos de terrenos?* *Qual o efeito do atrito nos movimentos de terrenos?*

Nível cogni-tivo	Subcategorias	Cenário 1 – Vulcanologia e prevenção do risco vulcânico	Cenário 2 – Sismos – avaliação, previsão e prevenção	Cenário 3 – Abandono mineiro e dispersão de contaminantes em meio hídrico	Cenário 4 – Estabilidade das zonas de vertente
Questões produtivas/Elevado nível cognitivo	Questões de avaliação	*Será que a carta de risco vulcânico é o único meio de prevenção?* *Qual o melhor método minimizar os riscos para a população perante uma erupção vulcânica?* *Existe apenas um método de minimizar os riscos para a população perante uma erupção vulcânica?*	*Qual a importância de um simulacro para a redução do número de vítimas?* *A partir de que valor de probabilidade de rotura a população deve ser avisada?*	*Qual da poluição, no solo ou na água, será mais prejudicial para as populações envolventes?* *Quais são os elementos químicos mais preocupantes em termos de poluição?* *Qual o grau de poluição associado ao problema da contaminação da Ribeira da Castanheira?*	*Por que é que a água não tem sempre o mesmo efeito sobre as vertentes?* *O que tiveram em comum os terramotos de Lisboa e Andaluzia para provocar o deslizamento de terras em Granada?* *Até que ponto a quantidade de água, o tipo de litologia, o declive, a intervenção antrópica e os sismos influenciam os movimentos de massa?*
	Questões de procura de soluções	*Não se observa.*	*Como alertar corretamente a população para a ocorrência de um sismo sem gerar pânico?* *Como realizar um plano de prevenção sísmica que inclua a vulnerabilidade/perigosidade/ exposição?*	*Que soluções existem para resolver o problema da contaminação causada pela poluição da Ribeira da Castanheira?* *Que utilização se pode dar à área após a reabilitação da mina?* *Como podem a Ciência e a Tecnologia contribuir para a eliminação de resíduos resultantes da exploração mineira?*	*Como desenvolver um sistema de alerta no caso dos movimentos de massa?* *Que medidas se podem tomar para melhorar as condições de segurança nas zonas de risco?* *Como proceder depois da ocorrência dos movimentos de massa?* *Que medidas poderiam ser tomadas para prevenir os movimentos de terreno?*
	Questões de aplicação	*É possível prever uma erupção vulcânica?*	*Será que a ocorrência dos sismos é um fenómeno cíclico?* *Será que as medidas de prevenção são suficientes para sismos de grande magnitude?*	*Será que os solos também estão contaminados devido à poluição da Ribeira da Castanheira?* *Será que os sistemas naturais conseguem auto-regenerar-se?* *Quanto tempo os sistemas naturais precisam para se auto-regenerar?* *Será que há diferenças entre o padrão de dispersão dos elementos químicos poluentes?*	*Será que existem formas de prever os deslizamentos de terras?* *Será que os trabalhos laboratoriais podem reproduzir as condições reais/naturais?* *Como simular a influência de diferentes fatores na estabilidade das vertentes?*

No caso do cenário 1 – "Vulcanologia e prevenção do risco vulcânico", os estudantes formularam questões de natureza reprodutiva e produtiva, com particular ênfase para as questões enciclopédicas, consideradas de reduzido nível cognitivo. Esta maior incidência em questões desta natureza, que procuram inquirir, basicamente, factos ou informações, pode indiciar um domínio ainda incipiente do processo de ABRP. Relativamente às questões produtivas, destacaram-se as questões de avaliação. O cenário de vulcanologia e risco, cujo contexto geográfico se situava na ilha do Corvo, colocou aos estudantes um problema hipotético relacionado com a instalação de uma Unidade de Saúde, sendo que a decisão a tomar quanto à sua localização era condicionada pela diminuição dos riscos decorrentes de uma eventual erupção vulcânica. O vulcanismo constitui-se como um conteúdo programático transversal durante o percurso académico do estudante, o que pressupõe a existência de pontos âncora na exploração do cenário, permitindo estabelecer uma ponte entre o que o estudante sabe e o que necessita de saber. Em relação às questões, os estudantes focaram a atenção sobretudo em dois domínios: (1) o vulcão (história geológica e enquadramento geotectónico) e (2) os métodos para minimização do risco vulcânico de uma região, nomeadamente os parâmetros relacionados com a construção de uma carta de risco vulcânico.

No que concerne ao cenário 2, "Sismos – avaliação, previsão e prevenção", ao contrário do cenário 1 anteriormente descrito, sobressai a formulação de questões produtivas, observando-se uma diversificação neste domínio em todas as suas subcategorias, com exceção das questões de avaliação. No mesmo sentido, que diz respeito às questões enciclopédicas, verifica-se uma reduzida expressão, ao invés do cenário 1. De todas as subcategorias de questões, no domínio das questões produtivas, foram geradas sobretudo questões de compreensão e questões de relação. Os estudantes tiveram como principais pontos de questionamento aspetos relacionados com conceitos estruturantes da sismologia (como, por exemplo, a análise de sismogramas ou a determinação do epicentro de um sismo), tendo demonstrado também curiosidade no estabelecimento de relações entre fatores, que podem influenciar a ocorrência de um sismo e os seus efeitos nas populações e locais onde habitam. De destacar, ainda, neste cenário, a formulação de questões que denotavam um particular interesse face à possibilidade de minimização dos riscos sísmicos na proteção das populações, prevenção de danos em áreas habitadas e eventual capacidade de previsão real deste fenómeno da geodinâmica terrestre.

No que se refere ao cenário 3, "Abandono mineiro e dispersão de contaminantes em meio hídrico", há uma clara predominância de questões produtivas

relativamente às questões reprodutivas. Na primeira categoria atrás referida, observa-se uma distribuição equivalente entre as questões de relação e as questões de procura de solução, sendo menos recorrentes as questões de compreensão, questões de avaliação e questões de aplicação. No que concerne ao conteúdo, enquanto nos cenários 1 e 2 os estudantes partiram dos exemplos concretos de ordem geográfica local e formularam questões de caráter geral e aplicáveis a qualquer situação que envolvesse os fenómenos de vulcanismo e sismos, no caso do presente cenário, uma parte das questões foi mais restritiva em termos de local geográfico, circunscrevendo-se à realidade específica da Ribeira da Castanheira. Deste modo, os grupos de estudantes apresentaram questões que se direcionaram, na sua maioria, para a componente química dos poluentes da escombreira a nível da Ribeira e o impacte provocado a nível da fauna e flora, assim como na população envolvente. As soluções que poderiam ser propostas para mitigar ou minimizar os efeitos da poluição em cursos de água e ambiente envolvente, provocados pela atividade mineira ou após o seu abandono, também constituíram pontos de interesse de inquirição por parte dos estudantes.

No caso do cenário 4 “Estabilidade das zonas de vertente” verifica-se um elevado predomínio de questões de relação comparativamente aos restantes tipos de perguntas, notando-se que as questões enciclopédicas são residuais e as de compreensão não se encontram representadas. Ou seja, as questões de elevado nível cognitivo, isto é, que implicam capacidades mais complexas, continuam a destacar-se no panorama geral do cenário em análise. Assim, os estudantes direcionaram-se sobretudo para a indagação da influência de diferentes fatores nos movimentos de massa em geral e suas consequências. À semelhança dos cenários anteriores, os participantes também tiveram como alvo da sua atenção para a investigação subsequente, o modo como as populações se poderiam proteger destes eventos e qual o papel que a Ciência e a Tecnologia poderiam desempenhar na possibilidade de previsão e alerta das populações.

Em síntese, considerando os tipos de questões formulados pelos estudantes durante o PI, foi possível observar, uma complexidade crescente na sua elaboração, desde o primeiro ao último cenário. Assim sendo, enquanto no cenário 1 se destacaram as questões enciclopédicas, estas deixaram de ter expressão assinalável nos restantes cenários (2 a 4). Os estudantes passaram a focar-se mais nas causas e consequências dos fenómenos analisados, na perceção do peso dos diferentes condicionalismos para a ocorrência desses fenómenos e ainda nos procedimentos de

investigação científicos que avaliam a questão do risco. Problematizaram a avaliação da vulnerabilidade à qual estão sujeitas as populações, o que implica, consequentemente, a procura de soluções para melhorar as condições de segurança das populações e a aplicação dos conhecimentos científicos e tecnológicos no desenvolvimento de meios de alerta e previsão destes fenómenos, questionando a capacidade da Ciência e da Tecnologia perante as situações em análise.

5.2. Análise da evolução da aprendizagem

A análise da evolução da aprendizagem dos estudantes foi traçada tendo por referência a Q2 de investigação "*Será que que a metodologia ABRP favorece a aprendizagem de conceitos científicos, por parte dos estudantes, na área de GA?*". Antes da implementação do PI, a situação inicial dos estudantes do grupo experimental e de comparação, no que se refere ao domínio dos conteúdos conceptuais, foi aferida através da aplicação de um teste de conhecimentos (pré-teste), atendendo a um *design* de investigação intergrupo ("*between subjects"*). Relativamente aos resultados obtidos na globalidade do pré-teste (tabela 5.2.), verifica-se que a pontuação do grupo experimental variou entre um mínimo de 38 e um máximo de 86 pontos (numa escala de 0 de mínimo teórico a 200 pontos ou 20 valores de máximo teórico), com uma média de 62.88 e um desvio padrão de 16.157. A pontuação do grupo de comparação variou entre 52 de valor mínimo e 120 de valor máximo, com uma média de 72.47 e um desvio padrão de 17.969. Note-se que nos dois grupos (experimental e de comparação) a média do pré-teste de conhecimentos se situa abaixo do valor de referência de 100 pontos (10 valores), sendo esta a marca convencional da transição para uma classificação globalmente satisfatória, no que se refere ao domínio dos conteúdos curriculares. Ou seja, pode-se pressupor que o teste de conhecimentos exige, de facto, conhecimentos específicos neste domínio, uma vez que as médias dos grupos experimental e de comparação estão aquém do valor de aprovação (100 pontos).

Tabela 5.2. – Valores de estatística descritiva obtidos no pré-teste de conhecimentos dos estudantes da UC de GA., no grupo experimental e no grupo de comparação (*design* intergrupo).

Pré-Teste	Grupo experimental (n= 16)	Grupo de comparação (n=17)
Média	62.88	72.47
Desvio-padrão	16.157	17.969
Mínimo	38	52
Máximo	86	120

Apesar de se registarem algumas diferenças nos resultados iniciais nos dois grupos (o grupo de comparação parte de valores máximos, mínimos e de média de

pontuação ligeiramente superiores ao do grupo experimental), após a aplicação do teste de Mann-Whitney, considera-se que não existem diferenças estatisticamente significativas (U=100; p=0.204). Este resultado demonstra que os grupos têm características semelhantes a nível de conhecimento académico antes da aplicação do PI.

Prosseguindo com um refinamento da análise estatística, ainda no que diz respeito ao pré-teste de conhecimentos, como se pode observar na tabela 5.3., verifica-se que os participantes obtiveram resultados semelhantes em todos os grupos de questões (QI a QV), não havendo diferenças estatisticamente significativas entre o grupo experimental e o de comparação. Pode, desta forma, afirmar-se que os dois grupos de participantes são equivalentes em termos de conhecimentos nos domínios avaliados da área de GA.

Tabela 5.3. – Valores de estatística obtidos no pré-teste dos estudantes da UC de GA, em termos globais e relativamente a cada um dos grupos de questões (QI, QII, QIII, QIV e QV), considerando um *design* intergrupo.

Questões Pré-teste	Grupo	n	M (DP)	Min – Max (observado)	Min – Max (teórico)	*U*	*p*
QI	Experimental	16	7.13 (3.931)	3 - 14	0 - 20	109.5	.345
	Comparação	17	8.06 (3.631)	3 - 14			
QII	Experimental	16	15.50 (4.531)	7 - 22	0 - 48	130.0	.845
	Comparação	17	16.47 (6.104)	6 - 29			
QIII	Experimental	16	22.13 (8.966)	3 - 36	0 - 44	96.5	.157
	Comparação	17	26.35 (5.820)	16 - 36			
QIV	Experimental	16	6.25 (5.222)	0 - 13	0 - 26	135.0	.986
	Comparação	17	6.00 (5.523)	0 - 18			
QV	Experimental	16	11.88 (9.715)	0 - 29	0 - 62	112.0	.402
	Comparação	17	15.59 (12.078)	0 - 43			
Teste Global	Experimental	16	62.88 (16.157)	38 - 86	0 - 200	100.0	.204
	Comparação	17	72.47 (17.969)	52 - 120			

Legenda: QI - grupo de questões I; QII - grupo de questões II; QIII - grupo de questões III; QIV - grupo de questões IV; QV - grupo de questões V; M – média; DP – desvio padrão; Min-Max – valor mínimo e máximo obtido correspondente a cada grupo de questões; *U* – Teste de Mann-Whitney; *p* – probabilidade de significância.

Relativamente aos resultados obtidos na globalidade do pós-teste (tabela 5.4), que era idêntico ao pré-teste e foi corrigido nos mesmos moldes pela mesma investigadora a fim de evitar enviesamentos na avaliação, verifica-se que a pontuação do grupo experimental variou entre 75 e 130 pontos, com uma média de 107.0 e um desvio padrão de 16.629. A pontuação do grupo de comparação variou entre 60 e 133, com uma média de 98.76 e um desvio padrão de 17.559.

Tabela 5.4. – Valores de estatística descritiva no pós-teste dos estudantes da UC de GA (*design* intergrupo).

Pós-Teste	Grupo experimental (n= 16)	Grupo de comparação (n=17)
Média	107.00	98.76
Desvio-padrão	16.629	17.559
Mínimo	75	60
Máximo	130	133

Saliente-se que, em ambos os grupos de participantes, os conhecimentos dos estudantes no pós-teste melhoraram face ao pré-teste e ultrapassaram (no caso do grupo experimental – 107.0 pontos) ou aproximaram-se (atendendo ao resultado do grupo de comparação - 98.76) da referência de "fronteira" dos 100 pontos (10 valores), a marca que distingue a obtenção de resultados "satisfatórios".

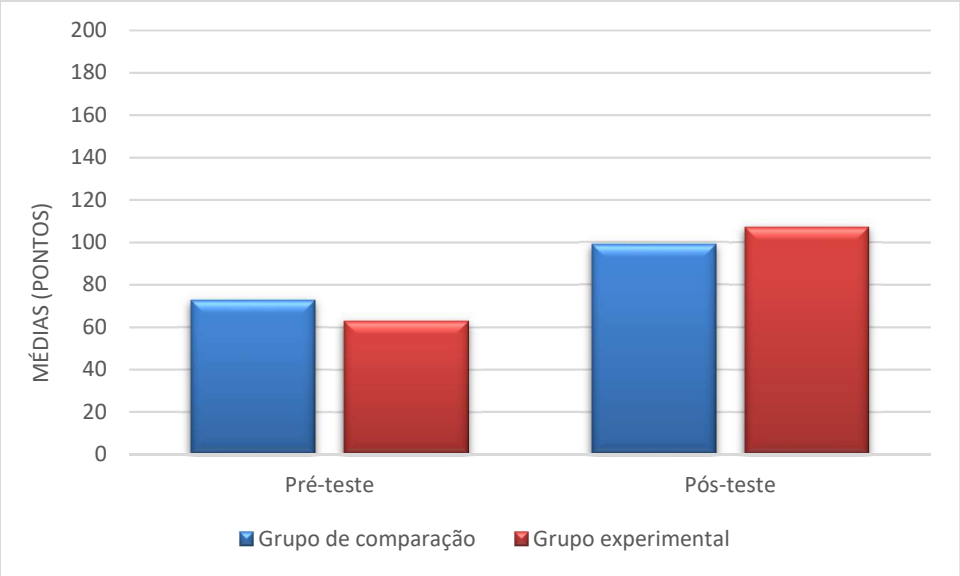


Figura 5.1 – Gráfico relativo à evolução das médias globais obtidas no pré e pós-teste, no grupo de comparação e grupo experimental.

Apesar de algumas diferenças nos resultados obtidos nos dois grupos, nomeadamente na média do pós-teste (o grupo experimental obteve uma média 8.24 pontos superior à do grupo de comparação, sendo que no início a diferença se situava 9.59 pontos no sentido oposto – figura 5.1), no valor mínimo obtido (75 no grupo experimental e 60 no grupo de comparação) e valor máximo (130 no grupo experimental *versus* 133 no grupo de comparação), não se observam diferenças estatisticamente significativas (U=88.5; p=0.087). Assim sendo, a hipótese nula é retida, pelo que o resultado obtido será devido ao acaso, considerando-se que não há diferenças entre os grupos experimental e de comparação a nível da variável "metodologia de ensino" (ABRP vs metodologia tradicional). Contudo, se atendermos a Martins (2011), dado que p<0.10 (p=0.087), "estes resultados não são estatisticamente significativos, mas pelo facto de estarem próximos do ponto de corte de .05, são designados por resultados *marginalmente significativos*" (p. 95). McMillan e

Schumacher (1989, p. 353), atribuem igualmente a designação de *marginalmente significativo* a um valor de *p* entre 0.05 e 0.10. No mesmo sentido, Vilela (2017, p. 369) elenca algumas das interpretações dos valores de p, alegando que "se *p*<0,1, existe menor evidência contra H_0". Assim, para este autor, "quanto menor for o *p*-valor, maior é a força para rejeitar a hipótese nula". Face ao exposto, se atendermos a Martins (2011), podemos apontar diferenças marginalmente significativas entre os grupos experimental e de comparação no que concerne aos resultados do pós-teste de conhecimentos.

Em termos específicos, procedendo a uma análise estatística mais detalhada do teste de conhecimentos, os resultados obtidos no pós-teste mostram que nos Grupos de Questões III e V existem diferenças estatisticamente significativas (tabela 5.5) entre os participantes. Relativamente ao Grupo de Questões III, verifica-se que os estudantes do grupo de comparação obtiveram uma média mais elevada (M = 28.06; DP = 5.847) em aproximadamente quatro pontos (num total de 200) relativamente ao grupo experimental (M = 24.13; DP = 4.395). Pelo contrário, no Grupo de Questões V é o grupo experimental (M = 32.75; DP = 9.335) que obtém uma média mais elevada em 7.67 pontos, mostrando assim maior domínio de conhecimentos relativamente ao grupo de comparação (M = 24.88; DP = 8.964).

Tabela 5.5. – Valores de estatística no pós-teste dos estudantes de GA, em termos globais e relativamente a cada um dos grupos de questões (QI, QII, QIII, QIV e QV), considerando um *design* intergrupo.

Questões	Grupo	n	M (DP)	Min – Max (observado)	Min – Max (teórico)	*U*	*p*
QI	Experimental	16	13.06 (4.328)	6 - 20	0 - 20	114.0	.444
	Comparação	17	12.18 (3.957)	6 - 20			
QII	Experimental	16	23.63 (8.326)	12 - 36	0 - 48	110.0	.363
	Comparação	17	21.00 (5.788)	12 - 33			
QIII	Experimental	16	24.13 (4.395)	17 - 32	0 - 44	76.0	**.031**
	Comparação	17	28.06 (5.847)	17 - 38			
QIV	Experimental	16	13.44 (6.022)	3 - 26	0 - 26	126.0	.736
	Comparação	17	12.65 (7.297)	0 - 23			
QV	Experimental	16	32.75 (9.335)	16 - 47	0 - 62	72.0	**.021**
	Comparação	17	24.88 (8.964)	12 - 42			
Teste Global	Experimental	16	107.00 (16.629)	75 - 130	0 - 200	88.5	.087
	Comparação	17	98.76 (17.559)	60 - 133			

Legenda: QI - grupo de questões I; QII - grupo de questões II; QIII - grupo de questões III; QIV - grupo de questões IV; QV - grupo de questões V; M – média; DP – desvio padrão; Min-Max – valor mínimo e máximo obtido em cada grupo de questões; Amplitude – total de pontos de cada grupo de questões; *U* – Teste de Mann-Whitney; *p* – probabilidade de significância.

A análise da evolução da aprendizagem entre o pré-teste e pós-teste, isto é, das diferenças intragrupo (amostras emparelhadas) em termos temporais, evidencia diferenças estatisticamente significativas em todos os grupos de questões, à exceção do Grupo de Questões III (tabela 5.6). Assim, ambos os grupos de estudantes (experimental e de comparação) evoluem em diversos domínios de conhecimento em GA de uma fase para a outra (pré-teste e pós-teste), sendo que esta diferença apenas não é significativa no Grupo de Questões III. No entanto, ressalve-se que este Grupo de Questões III foi construído sob a temática da instabilidade das zonas de vertente, tendo havido lugar nas aulas teórico-práticas da UC de GA a atividades experimentais quer no grupo experimental, quer no grupo de comparação. Estas atividades de laboratório estavam previstas no Programa da UC. Dito de outro modo, os dois grupos executaram trabalho de laboratório, sendo que, por terem sido submetidos a estratégias equivalentes, responderam também de um modo equivalente. Esta ocorrência pode servir como validade externa ao próprio PI. Ainda assim, neste Grupo de Questões III, saliente-se que a diferença de resultados de médias entre o pós e o pré-teste (Pós-Pré=Dif) é maior no grupo experimental (2.00 pontos) relativamente ao grupo de comparação (1.71 pontos).

Tabela 5.6. – Evolução da aprendizagem intragrupo da UC de GA (amostras emparelhadas), em termos globais e relativamente a cada um dos grupos de questões (QI, QII, QIII, QIV e QV),

Questões	Grupo	n	Pós-Pré=Dif.	DP	*W*	*p*
QI	Experimental	16	5.93	3.53	134.5	**.001**
	Comparação	17	4.12	4.68	132.0	**.008**
QII	Experimental	16	8.13	7.80	124.5	**.003**
	Comparação	17	4.53	7.62	122.5	**.029**
QIII	Experimental	16	2.00	8.16	80.5	.517
	Comparação	17	1.71	6.73	79.5	.267
QIV	Experimental	16	7.19	7.47	123.5	**.004**
	Comparação	17	6.65	7.16	125.5	**.003**
QV	Experimental	16	20.88	13.53	132.5	**.001**
	Comparação	17	9.29	8.89	130.0	**.001**
Teste Global	Experimental	16	44.13	20.27	136.0	**.000**
	Comparação	17	26.29	17.84	153.0	**.000**

Legenda: QI-grupo de questões I; QII- grupo de questões II; QIII-grupo de questões III; QIV-grupo de questões IV; QV-grupo de questões V; DP – Desvio Padrão; Pós-Pré = Dif - média da pontuação final (pós-teste) menos a média da pontuação inicial (pré-teste); *W* – Teste de Wilcoxon; *p* – probabilidade de significância.

Da análise da tabela 5.6. verifica-se ainda que, em qualquer dos grupos de questões, a aprendizagem no grupo experimental é sempre mais elevada do que no grupo de comparação (isto é, há uma maior diferença de pontuação entre o pós-teste e o pré-teste).

Face aos resultados obtidos e tendo ainda em conta o valor da probabilidade de significância, podemos concluir que a hipótese nula *("Não há diferença de desenvolvimento de conhecimento substantivo entre os estudantes do grupo experimental e os estudantes do grupo de comparação*") é rejeitada, ou seja, há evidências estatísticas de que os resultados são diferentes nos dois grupos, em termos de desenvolvimento do conhecimento substantivo por parte dos estudantes antes e após a implementação do PI.

Relativamente ao tipo de questões que integram o pré e pós-teste de conhecimentos, considerando que estas podem ser classificadas em reduzido nível cognitivo e elevado nível cognitivo (tabela 5.7), verifica-se que apenas as questões produtivas no pós-teste apresentam diferenças estatisticamente significativas (*U*= 73; *p*=0.023) entre os grupos de participantes em estudo – grupo experimental e comparação.

Tabela 5.7. – Categorização das questões do teste de conhecimentos segundo o nível cognitivo.

	Tipo de questões	Grupo	n	M (DP)	Min - Max	Amplitude	*U*	*p*
Pré-teste	Elevado nível cognitivo	Experimental	16	27.31 (10.941)	12 - 48	0 - 118	103.0	.245
		Comparação	17	33.88 (14.439)	17 - 70			
	Reduzido nível cognitivo	Experimental	16	35.56 (11.792)	13 - 54	0 - 82	123.0	.657
		Comparação	17	38.59 (11.001)	19 - 58			
Pós-teste	Elevado nível cognitivo	Experimental	16	59.19 (10.728)	40 - 78	0 - 118	73.0	**.023**
		Comparação	17	49.35 (12.966)	27 - 75			
	Reduzido nível cognitivo	Experimental	16	42.81 (8.550)	29 - 59	0 - 82	130.0	.845
		Comparação	17	43.06 (8.899)	21 - 58			

Legenda: M – média; DP – desvio padrão; Min-Max – valor mínimo e máximo obtido correspondente a cada grupo de questões; *U* – Teste de Mann-Whitney; *p* – probabilidade de significância.

Há ainda a realçar alguns aspetos particulares decorrentes da análise da tabela 5.3.: (i) no pré-teste, o grupo experimental obteve médias inferiores quer nas questões produtivas (27.31 vs. 33.88 pontos), quer nas reprodutivas (35.56 vs. 38.59 pontos) relativamente ao grupo de comparação; (ii) no pós-teste, os estudantes do grupo experimental registaram uma grande progressão na média final do grupo de questões produtivas, face aos estudantes do grupo de comparação (59.19 vs. 49.35 pontos); (iii) o grupo de comparação demonstrou um progresso mais acentuado nas questões

reprodutivas no pós-teste (43.06 pontos) do que o grupo experimental (42.81 pontos); (iv) em todos os casos, o desvio padrão diminuiu do pré para o pós-teste, indicando uma menor dispersão em torno da média após a lecionação dos conteúdos da UC, sendo que os estudantes que foram submetidos ao PI apresentaram um menor desvio padrão relativamente aos estudantes do grupo de comparação, quer nas questões produtivas, quer nas reprodutivas; (v) os valores relativos ao mínimo e máximo (Min-Max) das pontuações atribuídas nas questões subiram do pré para o pós-teste, à exceção do valor máximo obtido pelo grupo de comparação nas questões reprodutivas.

Deste modo, apesar de ambos os grupos de estudantes progredirem entre o pré-teste e o pós-teste, quer nos tipos de questões produtivas, quer reprodutivas, o grupo experimental obteve melhores resultados gerais em termos de progressão de médias, melhoria de valores mínimos e máximos, sendo a diferença estatisticamente significativa no que concerne às questões produtivas do pós-teste, em relação ao grupo de comparação.

5.3. Os modos de conhecimento dos estudantes no Ensino Superior

A complexidade cognitiva é seguramente uma das vertentes fundamentais do ensino superior. Lidar com cenários hipotéticos e/ou reais pode ser um modo de aproximação a situações da vida quotidiana que envolvem vários fatores em simultâneo e para os quais as soluções apontadas nem sempre são coincidentes. Esta perspetiva implica, à partida, uma maior capacidade argumentativa e uma visão mais reflexiva sobre a realidade envolvente. Neste sentido, para dar resposta à questão de investigação (Q3) “Será que a ABRP promove o desenvolvimento dos modos de conhecimento (*ways of knowing*) mais complexos dos estudantes?”, foi utilizada a Medida de Reflexão Epistemológica (MER) como instrumento para avaliar o desenvolvimento cognitivo que “incide sobre a natureza e justificação do conhecimento, ou seja, o modo como o indivíduo lida com o conhecimento e o processo de conhecer” (Faria & Bastos, 2010, p. 198).

Atendendo aos resultados obtidos na última etapa do presente estudo, observa-se que na tabela 5.8, em termos globais, a maior percentagem de estudantes

se situa no modo de conhecimento de transição, sendo este valor mais frequente no grupo experimental (grupo experimental – 81.3% vs. grupo de comparação – 64.7%). Não obstante, a proporção de estudantes do grupo de experimental que apresentam um modo de conhecimento absoluto é reduzida (6,3%) relativamente ao grupo de comparação (35.3%). No grupo experimental é possível ainda observar um participante com modo de conhecimento independente (6.3%) e outro participante que se situa no modo de conhecimento contextual (6.3%). Verifica-se que não existem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos experimental e de comparação (p=0.085). Contudo, tendo em consideração autores anteriormente citados (Martins, 2011; McMillan & Schumacher, 1989), estes resultados podem ser considerados "marginalmente significativos", uma vez que p é inferior a 0.10.

Tabela 5.8 – Modos de conhecimento dos estudantes da UC de GA, de acordo com os domínios papel dos estudantes, papel dos professores, papel dos colegas, papel da avaliação e natureza do conhecimento, segundo o modelo MER.

Domínios	Grupo	Modos de Conhecimento								Teste Exato de Fisher	*p*
		Absoluto		Transição		Independente		Contextual			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Papel dos estudantes	Experimental	5	31.3	8	50.0	3	18.8	0	0.0	3.172	.263
	Comparação	6	35.3	11	64.7	0	0.0	0	0.0		
Papel dos professores	Experimental	2	12.5	12	75.0	2	12.5	0	0.0	.263	1.000
	Comparação	2	11.8	13	76.5	2	11.8	0	0.0		
Papel dos colegas	Experimental	1	6.3	12	75.0	2	12.5	1	6.3	4.916	.142
	Comparação	6	35.3	10	58.8	1	5.9	0	0.0		
Papel da avaliação	Experimental	3	18.8	11	68.8	1	6.3	1	6.3	3.431	.259
	Comparação	7	41.2	10	58.8	0	0.0	0	0.0		
Natureza do Conhecimento	Experimental	4	25.0	6	37.5	5	31.3	1	6.3	1.891	.704
	Comparação	7	41.2	6	35.3	4	23.5	0	0.0		
Global	Experimental	1	6.3	13	81.3	1	6.3	1	6.3	5.423	.085
	Comparação	6	35.3	11	64.7	0	0.0	0	0.0		

Se tomarmos como referência os cinco domínios de conhecimento – papel dos estudantes, papel dos professores, papel dos colegas, papel da avaliação e natureza do conhecimento – a análise dos resultados aponta para algumas tendências em

particular. Assim, no domínio do "papel dos estudantes", verifica-se um maior predomínio do modo de conhecimento de transição quer no grupo experimental, quer no grupo de comparação (50.0% vs. 64.7%, respetivamente), uma maior aproximação nas proporções relativas ao modo de conhecimento absoluto (31.3% vs. 35.3%), mas uma ausência de representatividade do grupo de comparação em modos de conhecimento mais complexos (tal como o independente, no qual o grupo experimental reúne uma percentagem de 18.8%). Esta diferença, ainda que não estatisticamente significativa (p=0.263), aponta para um ligeiro predomínio de modos de conhecimento mais complexos no grupo experimental.

No que diz respeito ao "papel dos professores", os resultados mostram uma grande similaridade em ambos os grupos (experimental e de comparação), sendo que os participantes se situam maioritariamente no modo de conhecimento de transição (75% no grupo experimental vs. 76.5% no grupo de comparação), observando-se uma reduzida expressividade nos modos de conhecimento absoluto e independente (12.5% no grupo experimental vs. 11.8% no grupo de comparação em ambos os casos, respetivamente).

Quanto ao domínio "papel dos colegas", continua a recair no modo de conhecimento de transição a maior presença nos estudantes de GA, tanto do grupo experimental (75%) como de comparação (58.8%), observando-se, no entanto, que o modo de conhecimento absoluto é predominante nos estudantes do grupo de comparação (35.3%) relativamente aos participantes do grupo experimental (6.3%); por outro lado, 12.5% dos estudantes do grupo experimental enquadram-se no modo de conhecimento independente (versus 5.9% do grupo de comparação), havendo mesmo ainda a apontar 6.3% de participantes do grupo experimental que se situam no modo de conhecimento contextual. Assim, considerando que o trabalho de grupo na ABRP tem um papel preponderante, parece haver algum efeito a este nível no grupo experimental nos patamares de conhecimento mais complexos.

No que concerne ao domínio do papel da avaliação, o enfoque continua a situar-se no modo de conhecimento de transição, tanto no grupo experimental (68.8%) como de comparação (58.8%), verificando-se que o modo de conhecimento absoluto abrange os restantes participantes do grupo de comparação (41.7%), enquanto os participantes de grupo experimental se distribuem entre o modo de conhecimento absoluto (18.8%) e com a mesma proporção no que concerne ao modo de conhecimento independente e contextual (6.3%).

O domínio da "natureza do conhecimento" é o que apresenta uma maior dispersão de resultados em relação ao panorama anteriormente descrito, uma vez que

a maior percentagem de estudantes do grupo de comparação se situa no modo de conhecimento absoluto (41.2%), em contraposição aos restantes modos de conhecimento (transição – 35.3% e independente – 23.5%). Por outro lado, na linha dos domínios já elencados, a maioria dos indivíduos do grupo experimental continua a integrar o modo de conhecimento de transição (37.5%), observando-se ainda uma proporção também assinalável do modo de conhecimento independente (31.3%); segue-se, por ordem decrescente, o modo de conhecimento absoluto (25%) e o modo de conhecimento contextual (6.3%).

De salientar que, em análises estatísticas realizadas de modo complementar à anteriormente exposta, não se observaram diferenças em termos de género, curso ou ano curricular.

Face à tendência observada nos diferentes modos de conhecimento (absoluto, transição, independente e contextual) e domínios (papel dos estudantes, papel dos professores, papel dos colegas, papel da avaliação e natureza do conhecimento), procedeu-se a uma agregação dos modos de conhecimento em "simples" e "complexo". A categoria "simples" corresponde ao modo de conhecimento absoluto (que pressupõe uma visão dualística do mundo) e na categoria "complexo" estarão incluídos os restantes modos de conhecimento (transição, independente e contextual), o que pressupõe algum grau de sensibilidade à incerteza. Nesta linha de pensamento, o modo de conhecimento absoluto, encontra-se situado num extremo da escala relativamente aos restantes, servindo apenas como ponto de partida de um tipo de raciocínio que desenvolver num sentido de maior relativismo. Assim, uma vez que o modo de conhecimento de transição marca uma mudança para modos de conhecimento característicos de indivíduos que aceitam a incerteza, a preferência de métodos educativos que se baseiam na compreensão e aplicação de conhecimentos e que reconhecem a importância dos colegas na construção do seu próprio conhecimento (tal como expresso no Capítulo I), pode, eventualmente, considerar-se ser esta a raiz do raciocínio mais criativo e desafiador, do questionamento mais crítico, que implica um modo de pensar mais complexo sobre cenários problemáticos. Para além disso, os estudantes que apresentam modos de conhecimento no outro extremo da escala – independente e contextual, são pouco ou nada frequentes (ao contrário do que acontece com o modo de conhecimento "absoluto"/"simples") pelo que foram acoplados a esta categoria de modos de conhecimento "complexo". O resultado obtido, de acordo com esta perspetiva de classificação de modos de conhecimento, encontra-se expresso na tabela 5.9.

A análise da tabela referida anteriormente evidencia que, na quase totalidade dos domínios, se verifica uma maior proporção de modos de conhecimento "complexo" dos estudantes do grupo experimental em relação ao grupo de comparação. Assim, a proporção de estudantes do grupo de comparação enquadrada no modo de conhecimento "simples" ultrapassa a dos estudantes do grupo experimental, à exceção do domínio "papel dos professores", ainda que se trate de uma diferença de apenas sete décimas a favor do grupo experimental.

Tabela 5.9 – Modos de conhecimento no Ensino Superior (simples vs. complexo).

Domínios	Grupo	Modos de Conhecimento				χ^2	*p*
		Simples		Complexo			
		n	%	n	%		
Papel dos estudantes	Experimental	5	31.3	11	68.8	0.061	0.805
	Comparação	6	35.3	11	64.7		
Papel dos professores	Experimental	2	12.5	14	87.5	0.004	0.948
	Comparação	2	11.8	15	88.2		
Papel dos colegas	Experimental	1	6.3	15	93.8	4.160	**0.041**
	Comparação	6	35.3	11	64.7		
Papel da avaliação	Experimental	3	18.8	13	81.3	1.963	0.161
	Comparação	7	41.2	10	58.8		
Natureza do Conhecimento	Experimental	4	25.0	12	75.0	0.971	0.325
	Comparação	7	41.2	10	58.8		
Global	Experimental	1	6.3	15	93.8	4.160	**0.041**
	Comparação	6	35.3	11	64.7		

Legenda: Modos de conhecimento simples = absoluto; Modos de conhecimento complexos = transição + independente + contextual; χ^2 – Teste do Qui-quadrado.

Em termos globais, há diferenças estatisticamente significativas entre os grupos experimental e de comparação (χ^2 = 4.160; *p*=0.041), situando-se apenas um estudante do grupo experimental (6.3%) no modo de conhecimento simples, pois os restantes denotam modos de conhecimento complexos (93.8%); no grupo de comparação, a maior parte dos estudantes também evidencia modos de conhecimento complexos (64.7%), mas em menor proporção comparativamente aos estudantes do grupo experimental. Outra diferença estatisticamente significativa decorrente da análise da tabela 5.9 prende-se com o "papel dos colegas" (χ^2 = 4.160; *p*=0.041),

observando-se novamente que o grupo de estudantes submetido ao PI apresenta modos de conhecimento mais complexos neste domínio. Ora este resultado parece coadunar-se com a valorização que a ABRP atribui ao trabalho de grupo e que os estudantes que se situam num modo de conhecimento mais complexo, como o de transição, demonstram reconhecer a legitimidade da contribuição válida de ideias dos pares para a própria construção do conhecimento. Pelo exposto, considera-se a hipótese nula ("*Não há associação entre os modos de conhecimento dos estudantes e o tipo de metodologia de ensino aplicada em contexto de sala de aula*") rejeitada. Nesta perspetiva, os resultados alcançados apontam para uma eventual relação entre modos de conhecimento mais complexos e a aplicação da metodologia ABRP no ensino superior.

Assim, parecem existir indícios de que a ABRP promove simultaneamente a aprendizagem de conteúdos específicos (neste caso, conhecimento da área de GA), o desenvolvimento dos processos cognitivos mais complexos que provavelmente estarão associados a competências de questionamento mais avançadas (isto é, formulação de questões produtivas/elevado nível cognitivo) e de modos de conhecimento que ultrapassam, em grande medida o modo de conhecimento absoluto. Neste contexto. os cenários problemáticos poderão ser o instrumento que serve de gatilho para iniciar uma jornada de complexidade crescente em termos de aprendizagem.

5.4. Discussão dos resultados obtidos à luz da investigação nacional e internacional

Nas aulas teórico-práticas da UC de GA, a aplicação da metodologia ABRP pretendeu atribuir ao estudante um papel central no processo ativo na construção do seu próprio conhecimento, partindo de quatro cenários problemáticos, que levaram à formulação de questões em contexto de grupo de trabalho. Essas questões, por sua vez, nortearam posteriormente o processo de procura de soluções, por parte dos estudantes. Esse processo cíclico visou desenvolver competências de ordem variada ao promover o questionamento crítico e o trabalho colaborativo dos estudantes tentando, de igual modo, potenciar o desenvolvimento da sua componente cognitiva

através de uma aprendizagem a partir de problemas reais do quotidiano e de cariz mal-estruturado, bem como impactar a complexidade do seu pensamento.

Baseado neste pressuposto, o estudo aqui apresentado envolveu duas fases de natureza metodológica distinta, mas complementar, cujos resultados mostraram o seguinte:

(i) inicialmente, durante o PI, o estudo qualitativo debruçou-se sobre as questões elaboradas pelos estudantes, com a respetiva categorização a partir da literatura de referência na matéria; sendo que os resultados neste âmbito apontaram, de um modo global, para uma evolução no sentido de uma maior complexificação na sua construção, isto é, para a predominância de questões de elevado nível cognitivo relativamente às de reduzido nível cognitivo, à medida que decorreu uma maior familiarização com os procedimentos cognitivos inerentes à metodologia ABRP;

(ii) no estudo de natureza quantitativa, após se ter verificado que no pré-teste de conhecimentos, a amostra constituída pelo grupo experimental e de comparação não revelava diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, ou seja, estes eram equivalentes no que concerne ao conhecimento substantivo na área de GA, o processamento dos dados do estudo quantitativo realizado, apontou para sentidos aparentemente convergentes, uma vez que

(1) a diferença entre os grupos experimental e de comparação (intergrupo) no pós-teste de conhecimentos foi marginalmente significativa, favorecendo o grupo experimental submetido ao PI;
(2) a diferença dentro do mesmo grupo de estudantes (intragrupo) antes e após o PI, que mediu a evolução do conhecimento substantivo na área de GA entre o pré e o pós-teste, foi estatisticamente significativa para ambos os grupos, sendo essa diferença mais evidente no grupo experimental do que no grupo de comparação, em termos de resultados numéricos;
(3) os estudantes do grupo experimental tiveram melhor desempenho no pós-teste nas questões produtivas, ou seja, de elevado nível cognitivo, revelando neste ponto uma diferença estatisticamente significativa face aos estudantes do grupo de comparação, sendo que nas restantes questões, tanto no pré como no pós-teste não se verificaram diferenças significativas sob o ponto de vista estatístico;
(4) a diferença estatística entre os grupos experimental e de comparação no que diz respeito à classificação dos modos de

conhecimento, no âmbito do Modelo de Reflexão Epistemológica, foi marginalmente significativa, no cômputo da classificação geral;

(5) considerando a agregação dos modos de conhecimento em duas categorias (simples e complexos), a diferença entre os grupos experimental e de comparação é estatisticamente significativa, tanto em termos globais, como no domínio específico “papel dos colegas”.

Do exposto e no que concerne à primeira fase do presente estudo, os resultados vão ao encontro de outras investigações que foram desenvolvidas a nível nacional e internacional. À semelhança do estudo de Pinto e colaboradores (2015), as questões enciclopédicas foram as que os estudantes mais apontaram quando confrontados pela primeira vez com um cenário (identificado no presente estudo como cenário 1) utilizando a metodologia ABRP e aplicado em contexto de sala de aula. Talvez pelas mesmas razões que as autoras do estudo evocaram, o facto de se tratar de uma primeira aproximação a uma metodologia de ensino e aprendizagem com a qual os estudantes ainda não se sentiam familiarizados, explique a formulação em grande parte questões de índole reprodutiva (enciclopédicas). Segundo Dahlgren e Öberg (2001), formular apenas questões enciclopédicas pode ser sinónimo de uma abordagem superficial, procurando somente o significado lexical de uma palavra ou conceito, enquanto o uso de outras tipologias de questões geralmente signifique uma abordagem mais profunda à aprendizagem. De sublinhar que, ao contrário do que sucedeu com o primeiro estudo anteriormente citado, perante este primeiro cenário, os estudantes de GA foram capazes de elencar questões de elevado nível cognitivo (como as de relação, de compreensão, avaliação e de aplicação, ainda que com pouca expressão). Todavia, verificou-se que este tipo de questões de elevado nível cognitivo adquire proeminência no cenário 2 – “Sismos – avaliação, previsão e prevenção”, observando-se concomitantemente a sua diversificação de tipologia. No caso do estudo de Pinto e colaboradores (2015), a confrontação com o segundo cenário levou à formulação de questões de todo o tipo de categorias (ainda que se apurasse na mesma um predomínio das questões enciclopédicas e de compreensão); refira-se, a este propósito, que os alunos abrangidos tinham sido contemplados anteriormente com uma aula especial que teve o objetivo específico de os ensinar a questionar. Particularizando, no âmbito do presente trabalho, tratando-se de estudantes do ensino superior, a tendência verificada de diversificação de questões face ao segundo cenário pode, eventualmente, ter sido o resultado de vários fatores conjugados, tanto inerentes aos próprios estudantes, como à forma de construção do

cenário problemático apresentado (tema, contextualização, complexidade, entre outros). Deste modo, o facto de os estudantes já se encontrarem mais familiarizados com o próprio grupo de trabalho e com a metodologia ABRP, poderá ter favorecido uma melhor gestão do tempo disponível para elaboração das questões. Por outro lado, sob o ponto de vista motivacional, o cenário recorre a estímulos que eventualmente terão desencadeado um maior interesse por parte dos estudantes: enquanto o primeiro cenário (1) tenta envolver o estudante através de uma situação num futuro profissional imaginário, colocando-o num papel central para a sua resolução, o cenário em análise (2) foi introduzido através do visionamento de um pequeno documentário referente a uma situação real (sismo de Loma Prieta, em 1989), seguido da leitura de um diálogo fictício entre dois estudantes da FCUP sobre o assunto, nomeadamente no que se refere à previsão sísmica, para a qual a ciência ainda não possui resposta definitiva. Para Pinto e colaboradores (2015), a própria construção dos cenários problemáticos pode constituir-se como promotor de questões produtivas. Neste caso, os estudantes acabaram por formular mais questões de compreensão, de relação e de procura de solução, evidenciando uma maior facilidade de problematização de nível cognitivo superior comparativamente ao cenário previamente apontado (1).

Se nos reportarmos ao cenário 3, tal como referenciado no início deste capítulo, uma parte das questões formuladas pelos estudantes referiu em termos geográficos a Ribeira da Castanheira, ao contrário do que aconteceu nos cenários restantes, nos quais as questões dos estudantes não foram tão específicas relativamente a situações concretas no espaço e tempo. Para além disso, o cenário tinha por base a exploração de uma notícia real extraída de um jornal de circulação diária, apesar de enquadrada numa narrativa construída para esse efeito. Foi assim criada uma situação hipotética de tensão que teria de ser resolvida pelo protagonista, através de uma intervenção cívica junto das entidades competentes. Ou seja, se atendermos a Dahlgren e Öberg (2001), um cenário frutífero pode ter como motivação a sua complexidade, mas também a capacidade de provocação ou, até, a de gerar um envolvimento emocional devido, por exemplo, a alguma situação de tensão. Nesta linha, Felder e Brent (2004b) defendem que uma das condições conhecidas que promovem uma abordagem profunda à aprendizagem por parte do aluno é o reconhecimento da sua relevância, por exemplo, em termos de preocupações ou interesses. Assim, talvez se possam aplicar estas linhas de pensamento ao cenário 3, por fazer referência à poluição da Ribeira da Castanheira e esta ser um afluente do rio Douro, representando, desse ponto de vista, um contexto mais próximo dos estudantes. Logo, as questões em si mesmas acabaram por refletir a preocupação

com esta proximidade, o que se traduziu na formulação de questões focadas nas causas e consequências do fenómeno relativamente ao ecossistema e às populações implicadas no problema.

O cenário 4 mantém a tendência de formulação de um maior número de questões produtivas comparativamente às reprodutivas, tal como no caso dos cenários 2 e 3, observando-se um grande enfoque nas questões de relação face aos restantes cenários. É de realçar que esta situação problemática implicava a planificação e a execução de atividades experimentais tendo por referência a simulação de diferentes condições para a ocorrência dos movimentos de massa. Esta orientação no problema terá provavelmente condicionado o tipo de questões formulado pelos estudantes, que acabaram por endereçar o seu foco de interesse para relações de causa-efeito entre os fatores que influenciam o deslizamento das vertentes e suas consequências, refletindo um raciocínio hipotético-dedutivo de natureza experimental. Os procedimentos a adotar tendo em conta a vulnerabilidade das populações e como desenvolver sistemas de alerta face ao risco, foram outras das questões colocadas pelos estudantes, que pressupõem soluções mais criativas, apesar de nem sempre concordantes.

A confrontação com os quatro cenários da UC de GA também revelou uma apetência dos estudantes para se focarem sobretudo na componente escrita dos mesmos, à semelhança do que Dahlgren e Öberg (2001) tinham apurado no seu estudo, no âmbito das ciências ambientais, com a duração de dez semanas, apesar de, neste caso, os cenários terem estruturas bastante distintas uns dos outros.

Importa referir ainda que, no que concerne à categorização das questões formuladas pelos estudantes submetidos ao PI, foi possível observar uma complexidade crescente na sua elaboração, tendo-se notado que apenas no cenário 1 se destacaram as questões enciclopédicas. Dourado e Leite (2010) apontam que, no processo da ABRP, as questões enciclopédicas não se constituem como problemas, atribuindo maior importância às de avaliação e de procura de solução. Relativamente ao questionamento, em termos globais, dos cenários utilizados na ABRP, Torres, Preto e Vasconcelos (2013) esclarecem que as questões de elevado nível cognitivo são mais significativas em termos de aprendizagem. Podemos assim afirmar que se verifica esta tendência no presente trabalho, o que se coaduna com a metodologia da ABRP.

Contudo, refira-se a este propósito de análise, que nem todos os estudos empíricos são consensuais. O trabalho de Torres e colaboradores (2013) demonstra uma grande preponderância para a formulação de questões enciclopédicas nos três

cenários aplicados ao longo do estudo realizado pelas autoras, com alunos do ensino secundário. Também no estudo desenvolvido por Carvalho e Dourado (2009), os alunos do terceiro ciclo do ensino básico formularam sobretudo questões do tipo enciclopédico, distribuindo-se as outras pelas subcategorias de compreensão, comparação e relação. A resenha efetuada por Vilaça e Morgado (2013, p. 125), aponta no mesmo sentido, afirmando que "tanto os alunos, como os professores, formulam bastantes questões mas de baixo nível cognitivo, e que se centram demasiado nos conceitos académicos". Todavia, a nível do ensino superior, o estudo realizado por Amado (2015), evidenciou a formulação de questões variadas, com um claro domínio de questões de ordem superior ou produtivas (relação, avaliação e de procura de soluções), o que também se verifica de forma global nesta investigação, dirigida a estudantes universitários. Palma e Leite (2006) sustentam a relevância da formulação de questões de nível cognitivo elevado em detrimento das questões enciclopédicas, que terão pouca utilidade quando a metodologia ABRP é aplicada. Estas autoras afirmam, inclusivamente que as questões relevantes na ABRP são as de natureza investigativa, que devem exigir, pelo menos, a compreensão, o que nos parece igualmente indicador de uma maior complexidade de raciocínio e que vai ao encontro dos resultados qualitativos obtidos neste estudo.

Deste modo, partilhamos a perspetiva de Torres e colaboradores (2013) que consideram ser importante criar condições para que os estudantes se sintam à vontade no processo de elaboração de questões e que, no estudo de uma área disciplinar, se devam diversificar cenários para favorecer o processo de questionamento, pois os estudantes reagem de modos diferentes devido a fatores variados. Parece-nos igualmente relevante o papel desempenhado pelo grupo de trabalho neste processo, uma vez que o estudo de Oliveira (2008), concluiu que a elaboração de questões em grupo favoreceu uma maior complexidade de formulação das questões, em detrimento da enunciação realizada individualmente. Assim, provavelmente os grupos de trabalho criam condições mais favoráveis ao processo criativo de elaboração de questões, o que subjaz ao preconizado pela metodologia ABRP.

Uma das estratégias apontada por Pinto e colaboradores (2015) para colmatar dificuldades de questionamento passa por "ensinar explicitamente os alunos a questionar (…) sensibilizando-os para a importância do questionamento na resolução de problemas, assim como com as metodologias de ensino problematizantes" (p.677). De facto, segundo Valtanen (2014, p. 29), "*Question-asking is essential for being, knowing and learning*" e, no que concerne à aprendizagem das ciências, o

questionamento contribui, entre outros aspetos, para impulsionar a construção do conhecimento (Chin & Osborne, 2008).

No entanto, é de ter em atenção que a formulação de questões é apenas uma das fases do processo cíclico da ABRP. De seguida, procede-se à análise do que acontece sob o ponto de vista da construção do conhecimento substantivo.

Relativamente à evolução da aprendizagem dos estudantes que foram submetidos ao PI, cujos resultados decorrem da segunda fase do estudo realizado, parece apontar para uma certa superioridade da ABRP relativamente à metodologia tradicional, considerando que a diferença de resultados no pós-teste, no *design* intergrupo é "marginalmente significativa" favorecendo o desempenho do grupo experimental e a diferença intragrupo, que traduz a evolução entre o pré e o pós-teste, revelou ser "estatisticamente significativa" também no grupo experimental. Para além disso, os estudantes do grupo experimental obtiveram melhor desempenho nas questões de elevado nível cognitivo, também designadas por questões produtivas, sendo esta diferença estatisticamente significativa no pós-teste, comparativamente aos estudantes do grupo sujeitos a uma metodologia tradicional.

Os estudos que se debruçam sobre a eficácia da ABRP no desenvolvimento do conhecimento substantivo dos estudantes ainda não são totalmente consistentes, denunciando alguma ambiguidade no que se refere à demonstração inequívoca da superioridade da ABRP em termos da evolução do conhecimento dos estudantes em áreas específicas do saber. Sublinhe-se que, nas últimas décadas, tem aumentado o reconhecimento da importância da ABRP enquanto metodologia que promove a construção de um conjunto de competências, analisadas sob diferentes perspetivas e contextos (Carvalho 2009; Gandra, 2001; Leibovitz, 2013; Lev, 2004; Vasconcelos, 2010a; Vieira, 2007). A componente de conhecimento sobre o conteúdo da matéria tem sido alvo de avaliação comparada com metodologias ditas tradicionais. Neste âmbito, verifica-se que a maior parte dos estudos realizados no contexto da ABRP a nível internacional tem como enfoque principal a área da medicina (Yew & Goh, 2016), o que provavelmente estará relacionado com a própria origem histórica e campo de desenvolvimento da metodologia em causa.

O estudo aqui apresentado tentou contribuir para essa discussão e parece indicar que existe um benefício mensurável na área de GA, ainda que não absoluto em termos estatísticos, quando se tem por referência a metodologia tradicional. Os resultados apresentados são relativamente consistentes com a literatura nacional e internacional no domínio, em diferentes linhas, como se irá discutir em seguida.

Há, de facto, resultados na literatura que apresentam diferenças estatisticamente significativas intergrupos (ABRP vs. metodologia tradicional), em termos de desempenho global, conhecimento conceptual e procedimental, entre outros itens de avaliação (Tarmizi & Bayat, 2012) ou a nível de classificações obtidas no exame final do curso de formação frequentado, isto é, no que concerne ao sucesso académico (Celik, Onder & Silay, 2011). Dada a escassez de estudos no ensino superior na área de GA, verifica-se que, por exemplo, no panorama português, o estudo empreendido por Ferreira e Henriques-Coelho (2016), no contexto da disciplina de Geografia, com uma turma de nono ano de escolaridade, verificou que a ABRP teve um impacto estatisticamente significativo na subida de classificações entre o pré e o pós-teste, nos alunos submetidos àquela metodologia e comparativamente com o grupo de comparação.

O facto de o estudo aqui apresentado não apontar para uma diferença intergrupos estatisticamente significativa, tal como o anteriormente elencados, talvez possa ficar a dever-se à conjugação de vários fatores, nomeadamente à dificuldade de controlo de todas as variáveis que influenciam a evolução do conhecimento substantivo dos estudantes, do facto de a metodologia ABRP ser inovadora no panorama nacional do ensino superior e a apropriação do seu funcionamento ser mais exigente, requerendo, por exemplo, uma maior duração do PI.

Contudo, refira-se que metanálise realizada por Gijbels e colaboradores (2005), ficou patente que o conhecimento do conteúdo científico dos estudantes avaliados foi similar quando estes foram submetidos a outros tipos de metodologias. Igualmente, uma revisão da literatura realizada por Albanese (2010), mostrou ganhos equivalentes entre metodologias de ensino (ABRP e outras), ressalvando, no entanto, que existem evidências que os estudantes funcionam melhor em atividades de contexto profissional e, geralmente, têm uma ideia favorável do ensino no formato de ABRP.

Centrando, por outro lado, a abordagem na investigação realizada no âmbito do *design* intragrupo em GA, a melhoria estatisticamente significativa verificada entre o pré e o pós teste dos estudantes submetidos ao PI, vai na perspetiva do estudo de Moutinho e colaboradores (2015). Estas investigadoras realizaram um estudo comparativo entre o ensino expositivo e a ABRP, tendo concluído que houve diferenças estatisticamente significativas entre o pré e o pós-teste dentro de cada grupo de participantes, tal como se verificou no presente trabalho. Assim, pode sugerir-se que a ABRP é uma metodologia que conduz a uma evolução positiva na aprendizagem de conteúdos curriculares entre momentos temporais distintos.

Outro aspeto investigado nesta tese compreendeu os resultados referentes à capacidade de os estudantes responderem a questões de âmbito mais complexo durante a aplicação da metodologia ABRP, agregando-se para esse efeito, as questões de reduzido e elevado nível cognitivo do teste de conhecimentos. Os resultados obtidos afiguram-se como consensuais entre trabalhos publicados. Note-se que no presente estudo, se observou um melhor desempenho dos estudantes submetido ao PI no pós-teste nas questões produtivas, ou seja, de elevado nível cognitivo, apresentando uma diferença estatisticamente significativa relativamente aos estudantes submetidos ao método de ensino tradicional. Em trabalhos realizados em Portugal, como o estudo empreendido por Ferreira e Henriques-Coelho (2016), verificou-se que nas questões que avaliam as capacidades cognitivas básicas dos alunos (categorizadas de acordo com uma taxonomia específica) a diferença foi estatisticamente significativa entre o grupo ABRP e o grupo de comparação nas questões que apelavam a elevadas capacidades cognitivas, favorecendo o primeiro grupo de estudantes referido.

Para além do conhecimento substantivo, o presente estudo integra a análise dos modos de conhecimento dos estudantes, em termos de complexidade cognitiva. Analisando os resultados obtidos no âmbito da Medida de Reflexão Epistemológica, há uma predominância de modos de conhecimento mais complexos (isto é, modos de conhecimento que excluem o absoluto) no grupo experimental, em relação ao grupo de comparação. Saliente-se que a amostra em análise era constituída por estudantes de segundo e terceiros anos de vários cursos. Em conformidade com alguns estudos publicados no plano nacional, o modo de conhecimento de transição é dominante no segundo ano académico, verificando-se geralmente uma diminuição do modo de conhecimento absoluto neste ano em relação ao primeiro ano da licenciatura (Bastos, 1998; Faria et al., 2015). Estes resultados vão ao encontro dos sistematizados no presente estudo, uma vez que, a maior parte dos estudantes da amostra que frequentava o segundo e terceiro anos na UC de GA, se situava no modo de conhecimento de transição.

Alguns estudos apontam para uma progressão em termos de complexificação de pensamento que atinge o seu auge nos programas de pós-graduação (mestrado ou doutoramento), nos quais os modos de conhecimento independente e contextualizado atingem maior expressão (Faria, 2008; Faria et al., 2015; Martins, 2010). Os resultados corroboram outras publicações na matéria em que se encontraram padrões similares (Baxter Magolda, 2001), ainda que as explicações para esta progressão se possam

dever a vários fatores, como o grau de maturidade dos indivíduos (Martins, 2010). No entanto, nem sempre se verifica o anteriormente exposto. Num estudo levado a efeito por Sousa, Beja e Franco (2018), os resultados apontam para um predomínio e até reforço do absolutismo em todos os anos da formação a nível do ensino superior, não se verificando qualquer progressão em termos de tipo de pensamento ao longo do percurso académico dos estudantes. As autoras do estudo atribuíram esta discordância em relação a outros resultados patentes na literatura, entre outras razões, aos métodos de ensino tradicionais que caracterizam geralmente todo o percurso escolar dos estudantes, incluindo o ensino superior, não proporcionando desafios para o desenvolvimento epistemológico dos estudantes. Assim, se o professor demonstrar uma postura de "detentor da verdade, reduz a margem de participação do estudante e não valoriza aquilo que o estudante é e traz das suas experiências prévias, acabando por reforçar a conceção absolutista, limitando deste modo a possibilidade de mudança e desenvolvimento" (Faria, 2008, p. 248).

Segundo o presente estudo, tendo em consideração que analisamos a comparação dos modos de conhecimento dos estudantes após terem sido submetidos a metodologias diferenciadas de ensino e aprendizagem, o resultado apontou para modos de pensamento mais complexos nos estudantes submetidos à ABRP. Parece-nos adequado deduzir que a aplicação da metodologia ABRP possa contribuir para o desenvolvimento dos processos cognitivos dos estudantes ao apelar para formas de raciocínios mais relativistas/complexos. De acordo com a literatura alusiva neste domínio, estes tipos de raciocínio podem ser promovidos através de questões abertas que têm múltiplas soluções (Felder & Brent, 2004a), ou seja, da confrontação com um certo grau de incerteza e ambiguidade, que devem ser encaradas como subjacentes ao próprio processo de conhecimento (Faria et al., 2015) e que estão patentes nos cenários problemáticos aplicados durante o PI. Neste sentido, a contribuição dos pares que é inerente ao próprio processo da ABRP, também é encarada como uma mais-valia. Ao observar-se a linha dos resultados quantitativos, a focalização na relevância do papel dos colegas enquanto fontes de conhecimento, no grupo experimental, tem de ser verdadeiramente ponderada, dado que foi obtida uma diferença estatisticamente significativa face ao grupo de comparação. Nesta ótica, podemos considerar que a participação dos estudantes em discussões mais abertas e na resolução de problemas permite a sua exposição a uma multiplicidade de perspetivas, o que se reflete numa progressão para além de uma visão dualística sobre a realidade (Marra, Palmer & Litzinger, 2000). Assim, tendo em conta os resultados obtidos no domínio "papel dos colegas", estes podem ser enquadrados nas previsões e

recomendações de Baxter Magolda (1992, 2001) ao considerar que, para a validação dos estudantes como fontes de conhecimento pelos próprios pares, era necessário que estes tivessem um papel relevante na construção do conhecimento, atribuindo-lhes um papel que vai para além de memorizar e repetir conhecimento das autoridades na matéria. Por essa via, parece-nos fazer sentido que apenas no grupo experimental este reconhecimento tenha dado os seus frutos, pois durante o processo naturalmente colaborativo da ABRP, terá ocorrido de algum modo a legitimação dos pares enquanto fontes de conhecimento, não sucedendo o mesmo no grupo de comparação. Sublinhe-se que o ensino expositivo "apela apenas para a memorização mecânica e a reprodução retórica de conteúdos escolares" (Moutinho et al., 2015, p. 29) e a aprendizagem passiva geralmente falha em tornar um tópico relevante para a vida dos estudantes (Baxter Magolda, 1992).

As evidências empíricas obtidas nesta tese, parecem apoiar a ABRP enquanto metodologia capaz de responder aos desafios colocados no ensino superior. Em áreas científicas como a GA, que implicam necessariamente uma visão sistémica e integradora de saberes perante cenários problemáticos, a colaboração entre pares e o desenvolvimento, neste processo, de modos de conhecimento mais complexos, apontam para novas possibilidades de inovação pedagógica no ensino superior que, provavelmente, poderão vir a traduzir-se em múltiplas intervenções críticas, conscientes e criativas sobre o meio envolvente.

Conclusão

A presente secção foi elaborada de acordo com três eixos de referência. Em primeiro lugar, apresentam-se as conclusões decorrentes dos resultados obtidos nas duas fases do estudo empírico, tendo em consideração as três questões de investigação e as hipóteses equacionadas, no caso do estudo quantitativo. Na segunda parte, procede-se a uma reflexão sobre as limitações inerentes ao estudo apresentado. Por último, indicam-se sugestões que expandem caminhos para investigação futura.

1. Principais conclusões do estudo

O estudo em apreço foi concretizado tendo por base a finalidade de contribuir para uma mudança nas metodologias de ensino e aprendizagem a nível do ensino superior, promovendo a ABRP como uma metodologia capaz de surtir efeito positivo nos estudantes da área das ciências naturais. Em termos mais restritos, foram estabelecidos três objetivos específicos: (1) apreciar o tipo de questionamento dos estudantes face aos cenários problemáticos de GA; (2) analisar a construção de conhecimento substantivo, mediante a implementação de uma nova metodologia de ensino (ABRP), em comparação com a metodologia tradicional de ensino da UC e (3) avaliar a contribuição da metodologia da ABRP para os modos de conhecimento em estudantes de ensino superior.

Procedeu-se, por isso, à elaboração de três questões de investigação de âmbito mais restrito, recorrendo-se a uma metodologia de combinação de métodos qualitativos e quantitativos, aplicadas segundo um plano de investigação em duas fases. Na primeira, optou-se por um estudo qualitativo direcionado para a primeira questão de investigação (Q1) - “De que modo os diferentes tipos de cenários, utilizados na metodologia ABRP, contribuem para o desenvolvimento de competências de questionamento nos estudantes?”. Na segunda fase, levou-se a efeito um estudo quantitativo, que tentou dar resposta às restantes questões de investigação: Q2 – “Será que que a metodologia ABRP favorece a aprendizagem de conceitos científicos, por parte dos estudantes, na área de GA?” e Q3 – “Será que a ABRP promove o desenvolvimento dos modos de conhecimento (*ways of knowing*) mais complexos dos estudantes?”.

Para dar seguimento à implementação do PI, foram construídos quatro cenários problemáticos, relacionados com a exploração de quatro trabalhos teórico-práticos da UC de GA, que foram desenvolvidos de acordo com as seguintes temáticas: (1) vulcanologia e prevenção do risco vulcânico; (2) avaliação, previsão e prevenção de sismos; (3) abandono mineiro e dispersão de contaminantes em meio hídrico e (4) a estabilidade das zonas de vertente.

Relativamente à questão de investigação (Q1), os resultados do estudo qualitativo obtidos através da técnica de análise de conteúdo, envolvendo categorização das questões segundo o nível cognitivo atingido, apontam para uma evolução de competências de questionamento dos estudantes submetidos ao PI. Estes resultados decorrem da observação do aumento de complexidade das questões elaboradas, à medida que se foi consolidando uma maior familiarização com a metodologia ABRP. Assim, estes focaram-se em questões de reduzido nível cognitivo no cenário 1, correspondente ao início do PI, tendo elaborado sobretudo questões de elevado nível cognitivo, ou de ordem superior, nos restantes cenários (2 a 4). Verificou-se, ainda, que o reconhecimento de contextos abordados nos cenários problemáticos, como por exemplo, uma maior proximidade geográfica, poderia refletir-se numa maior especificidade das questões propostas. A confrontação com os quatro cenários da UC de GA também revelou uma apetência dos estudantes para se concentrarem, maioritariamente, na análise da componente escrita dos mesmos, apesar de terem sido visionados vídeos como complemento aos cenários 2 e 4. Numa perspetiva transversal, o questionamento dos estudantes evidenciou modos de pensar que foram para além daquilo que é considerado básico, ou seja, cuja resposta é praticamente imediata e demonstrou motivação para questões com um maior grau de desafio em termos investigativos. Deste modo, foram questionadas as causas e consequências dos fenómenos analisados, o peso dos diferentes condicionantes para a ocorrência desses fenómenos, procedimentos de investigação científica que avaliavam a questão do risco, a avaliação da vulnerabilidade à qual estão sujeitas as populações e a procura de soluções para melhorar as suas condições de segurança, bem como a capacidade da ciência e da tecnologia perante as situações ambientais em análise.

No que concerne à segunda fase do estudo, de natureza quantitativa, a investigação foi direcionada para averiguar duas perspetivas problemáticas: (1) a construção de conhecimento substantivo e (2) a complexidade dos modos de conhecimento dos estudantes do ensino superior na UC de GA. Nesse sentido,

elaboraram-se duas questões de investigação, sobre as quais se traçaram as respetivas hipóteses.

Da questão de investigação Q2 ("Será que a metodologia ABRP favorece a aprendizagem de conceitos científicos, por parte dos estudantes, na área de GA?"), emergiu uma das hipóteses centrais de investigação - "*O ensino da GA através da metodologia ABRP é mais eficiente do que a metodologia tradicional no desenvolvimento de conhecimento substantivo por parte dos estudantes*". Esta foi posteriormente desdobrada nas hipóteses nula e alternativa, para fins de análise estatística.

A análise dos resultados obtidos a partir da aplicação do pré e pós-teste de conhecimentos, ao pretender avaliar a evolução do conhecimento substantivo no domínio da GA, evidenciou, de um modo geral, um benefício dos estudantes que foram submetidos ao PI, comparativamente aos estudantes sujeitos à metodologia tradicional. Para este efeito, analisaram-se os resultados de dois *designs* de investigação, focalizados para uma análise inter-sujeitos e intra-sujeitos. Deste modo, verificou-se que a diferença entre os grupos experimental e de comparação (*design* intergrupo) no pós-teste de conhecimentos foi marginalmente significativa, favorecendo o grupo experimental submetido ao PI. No que respeita à diferença em termos de evolução de conhecimento substantivo dentro do mesmo grupo de estudantes (*design* intragrupo) antes e após o PI, esta foi estatisticamente significativa para ambos os grupos, sendo essa diferença mais evidente no grupo experimental do que no grupo de comparação. De salientar ainda que os estudantes sujeitos ao PI tiveram melhor desempenho no pós-teste nas questões produtivas (ou seja, de ordem superior ou de elevado nível cognitivo) revelando neste ponto uma diferença estatisticamente significativa face aos estudantes do grupo de comparação.

Relativamente à questão de investigação (Q3) – "Será que a ABRP promove o desenvolvimento dos modos de conhecimento (*ways of knowing*) mais complexos dos estudantes?" foi elaborada a hipótese de investigação "*Os modos de conhecimento dos estudantes estão associados ao tipo de metodologia de ensino aplicada em contexto de sala de aula (ABRP ou metodologia tradicional)",* que foi testada através de um estudo quantitativo, segundo duas hipóteses estatísticas: nula e alternativa. Assim, verificou-se que a diferença estatística entre os grupos experimental e de comparação no que diz respeito à classificação dos modos de conhecimento, tendo por base a Medida de Reflexão Epistemológica, foi marginalmente significativa, no cômputo da classificação geral, beneficiando o grupo experimental. Após ter sido

realizada a agregação dos modos de conhecimento em duas categorias ("simples" e "complexos"), a diferença entre os grupos experimental e de comparação revelou-se estatisticamente significativa, tanto em termos globais, como no domínio específico "papel dos colegas". Estes resultados poderão pressupor que metodologias de ensino e aprendizagem promotoras de um papel mais interventivo do estudante, como o caso da ABRP, contribuem para modos de conhecimento mais complexos. Para além disso, o facto de os estudantes terem de analisar situações-problema ou cenários problemáticos que apelam ao confronto de opiniões, à reflexão e à integração de diferentes pontos de vista, numa perspetiva colaborativa (não sendo apenas meros recetores de informação transmitida de um modo tradicional), talvez explique a atribuição aos pares de alguma credibilidade enquanto fontes de conhecimento, permitindo, assim, refletir um resultado final em termos de significância estatística.

Do exposto, parece-nos legítimo pressupor que o objetivo geral da presente investigação foi atingido. A evidência empírica neste trabalho permite, na nossa perspetiva, apoiar a ABRP enquanto metodologia inovadora em múltiplas dimensões, que se traduzem:

(1) na possibilidade da sua aplicação a nível do ensino superior, em UC como a GA, num efetivo enquadramento em contexto pós-Bolonha;
(2) no desenvolvimento de competências, por parte os estudantes, no domínio do questionamento, uma vez que parece favorecer a capacidade de elaboração de questões de nível cognitivo superior, úteis num futuro profissional;
(3) na construção de conhecimento substantivo e contextualizado;
(4) na promoção de modos de conhecimento mais complexos, que vão para além de uma visão dualística do mundo;
(5) numa perspetiva partilhada em grupo perante os desafios colocados, devido à realização de trabalho colaborativo, conduzindo ao reconhecimento do papel importante dos colegas em todo o processo de procura de soluções;
(6) numa efetiva resposta aos desafios colocados no ensino superior na Declaração de Bolonha, que atribui ao estudante um papel ativo no desenvolvimento de competências perante metodologias que apelam à resolução de problemas relevantes para o seu futuro profissional.

2. Limitações

O estudo aqui apresentado comportou limitações que seguidamente se descrevem. Assim, devido a constrangimentos relacionados com a própria organização das turmas da UC de GA, o número total de estudantes inscritos à UC, no início do ano letivo, não correspondeu ao número de estudantes que participou no estudo. A amostra ficou mais reduzida do que o inicialmente previsto, tendo existido perdas de sujeitos, uma vez que o trabalho era de cariz voluntário e implicava algum tempo em termos de preenchimento dos instrumentos de recolha de dados (pré e pós-teste e MER, no seu conjunto). Refira-se ainda o facto, não menos relevante, de existirem ainda outras variáveis difíceis de controlar, uma vez que estamos a lidar com seres humanos, sujeitos à influência de inúmeros fatores externos.

Para a generalidade dos participantes do grupo experimental, a ABRP constituiu uma nova metodologia, com a qual não se encontravam familiarizados, pelo que a previsão da duração do PI talvez devesse ter sido mais alongada, de modo a evitar constrangimentos relacionados com o tempo. No que concerne aos instrumentos utilizados para recolha e análise de dados, há a apontar o facto de o teste de conhecimentos não ter sido previamente testado antes de ser aplicado, apesar de ter sido validado por especialistas na matéria. No caso da MER, este instrumento já tinha sido devidamente validado em estudos anteriores. Contudo, ao proceder-se à aplicação de uma metodologia de combinação de métodos, tentou-se colmatar, em parte, as limitações da amostra e dos instrumentos utilizados.

3. Sugestões

As conclusões deste estudo parecem apontar para indícios suficientes que permitem encarar a ABRP como uma metodologia capaz de enriquecer o ensino superior e trazer ganhos a vários níveis em estudantes jovens, do primeiro ciclo de estudos, com uma distribuição equivalente de género, na área de GA. A linha de investigação aqui apresentada constitui um desafio ao qual pode ser dada continuidade, num panorama educativo pós-Bolonha, de acordo com o qual os estudantes não devem ser formatados, de modo recorrente, segundo um tipo de

aprendizagem que tem por base a memorização. Neste sentido, sugerem-se vias de investigação que:

(1) recorram a amostras preferencialmente aleatórias e dimensionadas de modo adequado a uma possível generalização de resultados;
(2) invistam na aplicação de estudos alargados a outros temas e áreas científicas distintas da GA, no âmbito das quais poderão ser desenvolvidos mais cenários problemáticos, permitindo a sua validação em diferentes contextos;
(3) avaliem as potencialidades da metodologia ABRP noutras dimensões como, por exemplo, os tipos de interações entre os estudantes em contexto colaborativo ou o impacto do questionamento a nível individual no sucesso académico do estudante;
(4) incluam a preparação de diferentes UC a nível do ensino superior que apelem a outras metodologias de ensino, promotoras do desenvolvimento de competências capazes de potenciar nos alunos o questionamento de nível cognitivo superior, preparando-os para o mercado de trabalho do século XXI;
(5) motivem os docentes do ensino superior para a diversificação de metodologias e implementação de estratégias e recursos educativos que promovam competências diversificadas.

Se este trabalho de investigação permitiu encontrar respostas a algumas questões, também terá gerado outras, espelhando o ciclo de uma aprendizagem que se pretende ser discutida, refletida e continuamente melhorada. Esperamos que o presente estudo potencie novas intervenções no âmbito do ensino superior, com vista à diversificação de metodologias que concorram para a formação de cidadãos cientificamente literatos e capazes de agir de forma colaborativa e responsável sobre o meio envolvente, numa perspetiva dialética de aprendizagem ao longo da vida.

Referências Bibliográficas

Agência Portuguesa do Ambiente - APA (2017). *Estratégia Nacional de Educação Ambiental 2020*. Disponível em https://www.apambiente.pt/_zdata/DESTAQUES/2017/ENEA/AF_Relatorio_ENEA2020.pdf

Albanese, M. (2010). Problem-Based Learning. In W. Jeffries & K. Huggett, *An Introduction to Medical Teaching* (pp. 41-53). doi 10.1007/978-90-481-3641-4_4

Albanese, M., & Mitchell, S. (1993). Problem-based learning: a review of the literature on its outcomes and implementation issues. *Academic Medicine*, 68(1), 52-81. doi: 10.1097/00001888-199301000-00012

Alho, J. M., & Lopes, M. A. (2010). *O percurso legal e institucional do ambiente: uma retrospetiva.* In R. Fonseca, L. Vasconcelos, J. M. Alho, & M. A. Lopes (Eds), *Ambiente, Ciência e Cidadãos* (pp. 17-35). Lisboa: Esfera do Caos Editores.

Ali, H., Suliman, R., Khan, S., Elhaj, B., Asmani, F., Khan, J., Kaleemullah, M, & Al-Dhalli, S. (2017). Experience of Dubai Pharmacy College with PBL through Students' Perception. *Journal Of Pharmacy Practice And Community Medicine, 3*(3), 126-130. doi: 10.5530/jppcm.2017.2.28

Allegre, C., Berlinguer, L., Blackstone, T., Rüttgers, J. (15 de maio de 1998). Declaração de Sorbonne. Disponível em http://www.ehea.info/media.ehea.info/file/1998_Sorbonne/61/2/1998_Sorbonne_Declaration_English_552612.pdf

Allen, D., & Duch, B. (1998). *Thinking Toward Solutions: Problem-Based Learning for General Biology*. E.U.A.: Saunders College Publishing.

Allen, D., & Tanner, K. (2003). Approaches to cell biology teaching: learning content in context - problem-based learning. *Cell Biology Education*, *2*, 73-81.

Almeida, A. (2007). *Educação Ambiental - a importância da dimensão ética*. Lisboa: Livros Horizonte.

Almeida, L., & Freire, T. (2008). *Metodologia de investigação em Psicologia e Educação* (5ª ed.). Braga: Psiquilíbrios Edições.

Álvarez, M., Martínes, M., Rodriguéz-Pérez, J., & Ablanedo, E. (2006). Problem Based Learning (PBL) and E-learning in Geodetic Engineering, Cartography and Surveying Education in the European Higher Education Area (EHEA) Frame. A Case Study in the University of León (Spain): Experiences and Results. In Atas do *XXIII FIG Congress – Shaping the Change* - Munich, Germany. Disponível em http://www.fig.net/pub/fig2006/papers/ts84/ ts84_05_alvarez_etal_ 0463.pdf

Amado, M. (2015). Aprendizagem baseada na resolução de problemas (ABRP) na formação contínua de professores de ciências. *Interações, 39*, 708-719.

Araújo, A. (2010). *Estudo Geoquímico das águas e sedimentos de corrente da Ribeira da Castanheira no troço a jusante da Mina de Terramonte após processo de reabilitação* (Dissertação de Mestrado não publicada). Universidade de Aveiro e Universidade do Porto.

Bacci, D. (2009). A Contribuição do Conhecimento Geológico para a Educação Ambiental. *Pesquisa em Debate*, *6*, 1 - 23.

Barrett, T. (2010). The problem-based learning process as finding and being in flow. *Innovations in Education and Teaching International*, *47*(2), 166-174. doi: 10.1080/14703291003718901

Barrows, H. (1996). Problem-Based Learning in Medicine and Beyond: a Brief Overview. In L. Wilkerson, & W. Gijselaers (Eds.), *Bringing Problem-Based Learning to Higher Education: Theory and Practice* (pp. 3-21). San Francisco: Jossey-Bass Publishers.

Bastos, A. (1998). *Desenvolvimento pessoal e mudança em estudantes de ensino superior - contributos da teoria, investigação e intervenção* (Tese de Doutoramento não publicada). Universidade do Minho, Braga.

Bastos, A. & Faria, C. (2003). *Manual de cotação da MER* (Manuscrito não publicado). Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo.

Batista, M. (2010). *Aprendizagem de Física e Química Baseada na Resolução de Problemas: um estudo com alunos de 11º ano de escolaridade* (Dissertação de Mestrado não publicada). Universidade de Aveiro, Aveiro.

Batzri, O., Assaraf, O., Cohen, C. & Orion, N. (2015). Understanding the Earth Systems: Expressions of Dynamic and Cyclic Thinking Among University Students. Journal of Science Education and Technology, 24(2), 761–775. doi: 10.1007/s10956-015-9562-8

Baxter Magolda, M. (1992). *Knowing and reasoning in college: Gender-related patterns in students' intellectual development*. San Francisco: Jossey-Bass.

Baxter Magolda, M. (2001). A construtivist revision of the measure of epistemological reflection. *Journal of College Student Development* , 42(6), 520-534.

Baxter Magolda, M. & Porterfield, W. (1985). *Description of the measure of epistemological reflection*. Manual não publicado.

Bennett, R., & Doyle, P. (1997) *Environmental Geology – Geology and the Human Environment*. England: John Wiley & Sons.

Bolacha, E. (2008). Elementos sobre Epistemologia da Geologia: uma contribuição no Ano Internacional do Planeta Terra, *eTerra, 6*(2), pp.1-16.

Boud, D. & Feletti, G. (1997). Changing problem-based learning. In Boud, D. & Feletti, G. (Eds). *The challenge of problem based learning* (p.1-14). London: Kogan.

Brilha, J. (2004). A Geologia, os geólogos e o manto da invisibilidade. *Comunicação e Sociedade*, 6, 257-265. doi:10.17231/comsoc.6(2004).1238

Cabral, J. (2010/2011). A paleossismologia na avaliação da perigosidade sísmica. *Geonovas*, 23 e 24, 15-17.

Cachapuz, A., Praia, J., & Jorge, M. (2000). *Perspetivas de Ensino*. Porto: Centro de Estudos de Educação em Ciência.

Cachinho, H. (2012). Criando experiências de aprendizagem sIgnificativas: do potencial da Aprendizagem Baseada em Problemas. *El Hombre y la Maquina*, 40, 58-67.

Caetano, L., & Dimuccio, L. (2003) - Ambiente e desindustrialização mineira, *Território, Ambiente e Trajectórias de Desenvolvimento*, 79 - 116.

Capon, N., & Kuhn, D. (2004). What's So Good About Problem-Based Learning?. *Cognition And Instruction*, *22*(1), 61-79. doi: 10.1207/s1532690xci2201_3

Carcedo, A., & Javier, F. (1987). Introdoccion a los Riesgos Geologicos. In Riesgos Geologicos (pp. 3-44). Madrid: Instituto Geologico y Minero de Espaňa.

Carvalho, C. (2009). *O Ensino e a Aprendizagem das Ciências Naturais através da Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas: um estudo com alunos de 9º ano de escolaridade, centrado no Sistema Digestivo*. (Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho). Disponível em http://repositorium.sdum.uminho.pt /handle/1822/9792

Carvalho, I. (2003). Os sentidos de "ambiental": a contribuição da hermenêutica à pedagogia da complexidade. In E. Leff (Ed.), *A complexidade ambiental* (pp.99-120). São Paulo: Cortez Editora.

Carvalho, C., & Dourado, L. (2009). A formulação de questões a partir de cenários problemáticos: um estudo com alunos de Ciências Naturais do 3º ciclo do Ensino Básico português. In *Atas do Congresso Internacional Galego-Português de Psicopedagogia* (pp. 2615-2628). Braga: Universidade do Minho.

Carvalho, C., & Dourado, L. (2011). O desenvolvimento de competências de trabalho de equipa numa abordagem ABRP: um estudo com alunos de Ciências Naturais do 3º ciclo do Ensino Básico português. In *Livro de Atas do XI Congresso Internacional Galego-Português de Psicopedagoxia* (pp. 2615-2628). A Coruña: Universidade da Coruña.

Castro, C., Peixoto, M., & Rio, G. (2005). Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas, *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 28(2), 11-30. Disponível em http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_ 2005 /Anuario_2005_11_30.pdf

Celik, P., Onder, F. & Silay, I. (2011) The effects of Problem-Based Learning on the students' success in Physics Course, *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 28*. 656-660. doi: 10.1016/j.sbspro.2011.11.124

Chamizo, J. A. (2011). Heuristic Diagrams as a Tool to Teach History of Science. *Science & Education, 21*(5), 745-762. doi:10.1007/s11191-011-9387-7

Chang, B. (2016). Problem-based learning in medical school: A student's perspective. *Annals of Medicine and Surgery, 12*(1), 88-89. doi:10.1016/j.amsu.2016.11.011.

Charlton-Perez, A. (2013). Problem-Based Learning Approaches in Meteorology. *Journal Of Geoscience Education*, *61*(1), 12-19. doi: 10.5408/11-281.1

Chin, C., & Chia, L. (2005). Problem-based learning: Using ill-structured problems in biology project work. *Science Education*, *90*(1), 44-67. doi: 10.1002/sce.20097

Chin, C., & Kayalvizhi, G. (2002). Posing problems for open investigations: what questions do pupils ask? Research in Science & Technological Education , *20*(2), 270-287. doi: 10.1080/0263514022000030499

Chin, C. & Osborne, J. (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science, Studies in Science Education, *44* (1), 1-39. doi: 10.1080/03057 260701828101

Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. (2000). *Research Methods in Education*. Great Britain: Routledge Falmer.

Comissão Europeia (2017). *School development and excellent teaching for a great start in life*. Disponível em https://ec.europa.eu/education/sites/education/ files/school-com-2017-248_en.pdf

Conte, E., Donato, A., Pugliese, L., & Troncone, A. (2016). Kinematics of the Maierato Landslide (Calabria, Southern Italy). *Procedia Engineering*, *158*, 194-199. doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.428

Conselho da União Europeia (2018). Recomendação do Conselho de 22 de maio de 2018 sobre as Competências Essenciais para a Aprendizagem ao Longo da Vida. *Jornal Oficial da União Europeia*. Disponível em https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604(01)&from=GA

Coutinho, C. (2011). *Metodologia de investigação em Ciências Sociais e Humanas: teoria e prática*. Coimbra: Almedina.

Coutinho, C. (2014). *Metodologia de investigação em Ciências Sociais e Humanas: teoria e prática*. Coimbra: Almedina.

Coutinho, R., Pacheco, J., Wallenstein, N., Pimentel, A., Marques, R., & Silva, R. (2009). Integrating geological knowledge in planning methods for small islands coastal plans. *Journal of Coastal Research*, 56, 1199-1203.

Dahlgren, M., & Öberg, G. (2001). Questioning to learn and learning to question: Structure and function of problem-based learning scenarios in environmental science education. *Higher Education*, *41*(3), 263-282. doi: 10.1023/a:1004138810465

Dahlgren, M., Castensson, R., & Dahlgren, L. (1998). PBL from the Teacher's Perspetive. *Higher Education* , *36*(4), 437-447. doi: 10.1023/a:1003467910288

Dam-Mieras, R. van, Lansu, A., Rieckmann, M., & Michelsen, G. (2007). Development of an Interdisciplinary, Intercultural Master's Program on Sustainability: Learning from the Richness of Diversity. *Innovative Higher Education, 32* (5), 251-264. doi: 10.1007/s10755-007-9055-7

Demir, A., & Abell, S. (2010). Views of inquiry: mismatches between views of science education faculty and students of an alternative certification program. *Journal of Research in Science Teaching* , *47*(6), 716-741. doi: 10.1002/tea.20365

Delisle, R. (1997). *How to use problem-based learning in the classroom*. Alexandria, Va.: Association for Supervision and Curriculum Development.

Demirel, M., & Dağyar, M. (2016). Effects of Problem-Based Learning on Attitude: A Meta-analysis Study. *Eurasia Journal Of Mathematics, Science & Technology Education*, *12*(8). doi: 10.12973/eurasia.2016.1293a

Dias, A. G. (2007). Efeitos da Geologia no Ambiente: causas e consequências. *Atas XVII Curso de Actualização de Professores de Geociências: comunicações – itinerários – trabalhos práticos*. (pp. 95-98). Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Dias, T. (2014) *A Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas com a utilização do "Scratch". Um estudo com alunos do 8º ano de escolaridade no âmbito da PES* (Dissertação de Mestrado, Universidade Católica Portuguesa). Disponível em https://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/18081

Diemer, A., & Marquat, C. (2016). *Educação para o Desenvolvimento Sustentável - Desafios e Controvérsias*. Lisboa: Edições Piaget.

Direção Geral do Ensino Superior (s.d.), *Processo de Bolonha*, disponível em http://www.dges.mctes.pt/DGES/pt/Estudantes/Processo+de+Bolonha/Processo+de+Bolonha/, consultado em dezembro 2011.

Dochy, F., Segers, M., Van den Bossche, P., & Gijbels, D. (2003). Effects of problem-based learning: a meta-analysis. *Learning And Instruction*, *13*(5), 533-568. doi: 10.1016/s0959-4752(02)00025-7

Dolmans, D., & Schmidt, H. (2010). The problem-based learning process. In H. Berkel, A. Scherpbier, H. Hillen, & C. Vleuten, *Lessons from Problem-Based Learning* (pp. 13 - 19). Great Britain: Oxford University Press.

Dolmans, D., Grave, W., Wolfhagen, I., & van der Vleuten, C. (2005). Problem-based learning: future challenges for educational practice and research. *Medical Education*, *39*(7), 732-741. doi: 10.1111/j.1365-2929.2005.02205.x

Dolmans, D., Snellen-Balendong, H., Wolfhagen, I., & van der Vleuten, C. (1997). Seven priciples of effective case design for a problem-based curriculum. *Medical Teacher* , *19* (3), 185 - 189. doi: 10.3109/01421599709019379

Dourado, L. & Leite, L. (2010). Questionamento em manuais escolares de Ciências: Que contributos para a Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas da "sustentabilidade na Terra"? In E. Canalejas Couceiro & C. García Rodríguez (Coord.). *Boletín das Ciencias – XXIII Congreso de ENCIGA*. A Coruña: ENCIGA (Ensinantes de Ciencias de Galicia).

Empresa de Desenvolvimento Mineiro, S.A. (EDM), & Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) (2011). *A Herança das Minas Abandonadas – O Enquadramento e a Actuação em Portugal.* Disponível em https://www.edm.pt/wp-content/uploads/2017/03/livro_edm.pdf

Esteves, E. (2014). Formação de professores e aprendizagem baseada na resolução de problemas: um estudo com futuros professores de Física e Química. (Tese de Doutoramento, Universidade do Minho). Disponível em http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/34402/1/Esmeralda%20Fernandes%20Azevedo%20Esteves.pdf

Esteves, E., Coimbra, M., & Martins, P. (2006). A Aprendizagem da Física e Química Baseada na Resolução de Problemas: um Estudo Centrado na Sub-unidade Temática "Ozono na Estratosfera, 10º ano. In Costa, L. et al. (Coords.). *Atas do XIX Congresso Enciga* (CD-Rom). Póvoa de Varzim: Escola Secundária Eça de Queirós.

Esteves, M. (2006). Análise de conteúdo. In J. Lima & J. Pacheco (Orgs), *Fazer Investigação. Contributos para a elaboração de dissertações e teses*. (pp. 105-126). Porto: Porto Editora.

Faria, C. (2008). *Vinculação e Desenvolvimento Epistemológico em Jovens Adultos*. (Tese de Doutoramento não publicada). Universidade do Minho, Braga.

Faria, C., & Bastos, A. (2010). Medida de reflexão epistemológica. *Atas do VII Simpósio Nacional de Investigação em Psicologia* (pp. 198-208). Braga: Universidade do Minho.

Faria, C., Soares, I., Silva, C., & Bastos, A. (2015). Epistemological Development and Attachment in European College Students. *Journal Of College Student Development*, *56*(8), 845-860. doi: 10.1353/csd.2015.0082

Felder, R., & Brent, R. (2004a). The Intellectual Development of Science and Engineering Students. Part 1: Models and Challenges. *Journal of Engineering Education*, *93*(4), 269-277. doi: 10.1002/j.2168-9830.2004.tb00816.x

Felder, R., & Brent, R. (2004b). The Intellectual Development of Science and Engineering Students. Part 2: Teaching to Promote Growth. *Journal of Engineering Education*, *93*(4), 279-291. doi: 10.1002/j.2168-9830.2004.tb00817.x

Fernandes, S. (2010). *Aprendizagem em Projetos no contexto do Ensino Superior. Avaliação de um dispositivo Pedagógico no Ensino de Engenharia*. Tese de Doutoramento. Braga: Universidade do Minho.

Ferreira, A. B. (1997) Deslizamentos e Desabamentos – Movimentos de Terreno em Portugal. Protecção Civil, 13, 9 – 15.

Ferreira, M. (2009). O Professor do Ensino Superior na Era da Globalização. *Revista Iberoamericana de Educación*, *50* (5), 1 - 10. Disponível em https://rieoei.org/RIE/article/view/1908

Ferreira, F., & Henriques-Coelho, T. (2016). Aprendizagem baseada na resolução de problemas: impacto no desenvolvimento do pensamento crítico. *Revista Lusófona de Educação*, *32*(32). Disponível em http://revistas.ulusofona.pt/index.php/rleducacao/article/view/5519

Fiolhais, C. (2011) *A Ciência em Portugal*. Lisboa: Fundação Manuel dos Santos.

Fonseca, R., Vasconcelos, L., Alho, J., & Lopes, M. (2010). *Ambiente, Ciência e Cidadãos*. Lisboa: Esfera do Caos.

Fortin, M.-F. (2009). *O Processo de Investigação: da conceção à realização*. Lisboa: Lusociência.

França, Z., Cruz, J., Nunes, J. & Forjaz, V. (2005). Geologia dos Açores: Uma perspectiva actual. *Açoreana*, *10*(1), 11-40.

França, Z., Lago, M., Nunes, J., Galé, C., Forjaz, V., Pueyo, O., & Arranz, E. (2006). Geochemistry of alkaline basalts of Corvo Island (Azores, Portugal): preliminary data. *Geogaceta, 40*, 87-90. Disponível em http://www.sociedadgeologica.es/archivos/geogacetas/Geo40/Geo40-22.pdf

Francis, P., & Oppenheimer, C. (2004). *Volcanoes*. Great Britain: Oxford University Press.

Freire, J., Pacheco, P., Veloso, L., Rego, R., & Clamote, T. (2015). A formação dos geólogos: o papel das universidades na configuração do campo profissional. *Análise Social, 215*, 226-255. Disponível em http://analisesocial.ics.ul.pt/documentos/AS_215_a01.pdf

Freire, P. (2012). *Pedagogia da Autonomia. Saberes necessários à prática educativa*. Mangualde: Edições Pedago.

Galvão, C., Reis, P., Freire, S., & Faria, C. (2011). *Ensinar Ciências, Aprender Ciências*. Porto: Porto Editora.

Gandra, P. (2001). *A aprendizagem da Física baseada na resolução de problemas: um estudo com alunos do 9º ano de escolaridade na área temática "Transportes e Segurança"*. (Dissertação de Mestrado não publicada). Universidade do Minho, Braga.

Gijbels, D., Dochy, F., Van den Bossche, P., & Segers, M. (2005). Effects of Problem-Based Learning: A Meta-Analysis From the Angle of Assessment. *Review of Educational Research*, *75*(1), 27-61. doi: 10.3102/00346543075001027

Gijon, M. (1988). Deslizamientos, desprendimientos, flujos y avalanchas. In *Riesgos Geologicos* (pp. 45-82). Madrid: Instituto Geologico y Minero de Espaňa.

Gomez, C., & Carlos, J. (1988). El Riesgo Vulcanico. In *Riesgos Geologicos* (pp. 83-97). Madrid: Instituto Geologico y Minero de Espaňa.

Gonçalves, A. (2011, 2012) Riscos associados à exploração mineira. O caso das minas da Panasqueira. *Cadernos de Geografia, 30-31*, 131-142. Disponível em http://www.uc.pt/fluc/depgeo/Cadernos_Geografia/Numeros_publicados/CadGeo30_31/Eixo1_9

Gonçalves, M. (2010, 2011). Drenagem ácida de minas. *Geonovas, 23 e 24*, 31-40.

Gordon, P., Rogers, A., Comfort, M., Gavula, N., & McGee, B. (2001) A Taste of Problem-based Learning Increases Achievement of Urban Minority Middle-School Students. *Educational Horizons, 79* (4), 171-75

Guerra, A. (2008). *Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas - Construção de materiais didáticos sobre a problemática ambiental das Ribeiras de Gaia*. (Dissertação de Mestrado não publicada). Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.

Guerra, A., & Kolmos, A. (2011, setembro). Assessing Learning Outcomes and Engineering PBL Project Reports. Paper presented at SEFI annual conference

2011, Lisboa, Portugal. Disponível em https://www.academia.edu/25415164/Assessing_Learning_Outcomes_and_Engineering_PBL_Project_Reports

Guerra, A., & Vasconcelos, C. (2009). Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas e construção de materiais didáticos na temática "Sustentabilidade na Terra". *Captar - Ciência e Ambiente* , *1* (2), 147-165.

Guerricchio, A., Doglioni, A., Fortunato, G., Galeandro, A., Guglielmo, E., Versace,P., & Simeone, V. (2012). Landslide hazard connected to deep seated gravitational slope deformations and prolonged rainfall: Maierato landslide case history. *Rend. Online Soc. Geol. It.*, 21, 574-576.

Hansen, P. (2018). Do Norwegian Textbooks for Compulsory Education Promote Geological System Thinking? *Journal of Education and Culture Studies*, *2*(1), 11-31. Disponível em https://hdl.handle.net/10642/5800

Harland, T. (2003). Vygotsky's Zone of Proximal Development and Problem-based Learning: linking a theoretical concept with practice through action research. *Teaching in Higher Education* , *8*(2), 263-272.

Hays, J. R., & Vincent, J. P. (2004). Students' Evaluation of Problem-Based Learning in Graduate Psychology Courses. *Teaching of Psychology*, *31*(2), 124-127.

Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). O Manual de Deslizamento: Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey. Disponível em https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos_M5DS_0. Pdf

Hillen, H., Scherpbier, A., & Wijnen, W. (2010). History of Problem Based Learning in Medical Education. In H. Berkel, A. Scherpbier, H. Hillen, & C. Vleuten, *Lessons from Problem-Based Learning* (pp. 5-12). Great Britain: Oxford University Press.

Hmelo-Silver, C. (2004). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn?. *Educational Psychology Review*, *16*(3), 235-266. doi: 10.1023/b:edpr.0000034022.16470.f3

Hofer, B., & Pintrich, P. (1997). The Development of Epistemological Theories: Beliefs about Knowledge and Knowing and Their Relation to Learning. *Review Of Educational Research*, *67*(1), 88-140. doi: 10.2307/1170620

Hofer, B., & Pintrich, P. (2002). Personal epistemology: the psycology of beliefs about knowledge and knowing. U.S.A.: Laurence Erlbaum Associates .??

Hung, W. (2006). The 3C3R Model: A Conceptual Framework for Designing Problems in PBL. *Interdisciplinary Journal Of Problem-Based Learning*, *1*(1), 55-77. doi: 10.7771/1541-5015.1006

Hung, W., Bailey, J., & Jonassen, D. (2003). Exploring the Tensions of Problem-Based Learning: Insights From Research. *New Directions For Teaching And Learning*, (95), 13-23. doi: 10.1002/tl.108

Hung, W., Jonassen, D., & Liu, R. (2008). Problem-based learning. In J. Spector, M. Merril, J. Merrienboer, & M. Driscoll, *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 485-506). New York: Lawrence Erlbaum Associates. doi 10.1.1.469.4785

Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2013). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, *11*(2), 167-194. doi: 10.1007/s10346-013-0436-y

Inhelder, B. & Piaget, J. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*. Paris: Presses Universitaires de France.

Isidro, M. L., & Huerta, L. L. (2009) Riesgos geológicos: técnicas de análisis y mitigación. *Enseñanza de Ciencias de la Tierra*, 17(3), 232-241.

Jayawardana, A., & O'Donnell, M. (2007). The Asian Tsunami and Problem-Based Learning for Postgraduate Students in Sri Lanka. *Journal Of Management Education*, *31*(5), 679-695. doi: 10.1177/1052562907300810

Jesuíno, J. C. (1999). O Método Experimental nas Ciências Sociais. In A. S. Silva, & J. M. Pinto, *Metodologia das Ciências Sociais* (pp. 215-249). Porto: Edições Afrontamento.

Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Stanne, M. B. (2000). Cooperative learning methods: A meta-analysis. Minneapolis: University of Minnesota. Disponível em https://digitalcommons.du.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1296&context=etd

Johnson, E., Herd, S., Andrewartha, K., Jones, S., & Malcolm, S. (2002). Introducing problem-based learning into a traditional lecture course. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, *30*(2), 121-124. doi: 10.1002/bmb.2002.494030020023

Jonassen, D., & Hung, W. (2008). All Problems are Not Equal: Implications for Problem-Based Learning. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, *2*(2). doi: 10.7771/1541-5015.1080

King, P., & Kitchener, K. (1994). *Developing reflective judgment*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers.

King, B., & Magun-Jackson, S. (2009). Epistemological Beliefs of Engineering Students. *The Journal of Technology Studies*, 35(2). doi: 10.21061/jots.v35i2.a.6

Kramer, D. (1989). Development of an awareness of contradiction across the life span and the question of postformal operations. In M. Commons, J. Sinnott, F.

Richards, & C. Armon (Eds.), *Adult development: Vol. 1: Comparisons and applications of adolescent and adult development models* (pp. 133-159). Westport: Praeger.

Kurfiss, J. (1997). Critical Thinking - theory, research, practice, and possibilities (Vols. 17, nº2). *ASHE-ERIC Higher Education Report*. Washington, D.C.: The George Washington University.

Lambros, A. (2004). *Problem based learning in middle and high school classrooms. A teacher's guide to implementation*. California: Corwin Press.

Leff, E. (2003). *A Complexidade Ambiental*. São Paulo: Cortez Editora.

Leibovitz, L. (2013). *A Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas Online: um estudo com alunos do 7º ano no tema Dinâmica Interna da Terra*. (Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho). Disponível em http://hdl.handle.net/1822/28681

Leite, L., & Afonso, A. (2001). Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas: características, organização e supervisão. *Boletín das Ciencias* , 48, 253-260.

Leite, L., & Esteves, E. (2005). Ensino Orientado para a Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas na Licenciatura em Ensino de Física e Química. In B. Silva, & L. Almeida, *Atas do Congresso Galaico-Português de Psicopedagogia*. Braga: Centro de Investigação em Educação do Instituto de Educação e Psicologia da Universidade do Minho.

Leite, L., & Esteves, E. (2006). Trabalho em grupo e Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas: um estudo com futuros professores de Física e Química. In *Atas do International Conference PBL 2006 ABP*. Lima: Pontíficia Universidad Católica del Perú.

Lessard-Hébert, M., Goyette, G., & Boutin, G. (1994). *Investigação qualitativa*: fundamentos e práticas. Lisboa: Instituto Piaget.

Lev, S. (2004). A Problem-Based Learning Exercise for Environmental Geology. *Journal Of Geoscience Education, 52*(2), 128-132. doi: 10.5408/1089-9995-52.2.128

Lima, J. (2006) Ética na Investigação. In J. Lima & J. Pacheco (Orgs), *Fazer Investigação. Contributos para a elaboração de dissertações e teses*. (pp. 127-159). Porto: Porto Editora.

Llorens, R., & Masquef, A. (2009). Movimentos de ladera. *Enseñanza de las Ciencias de la Terra, 17*(3), 284-294.

Lopes, H., & Menezes, I. (2016). Transição para o processo de Bolonha: Significações de docentes e estudantes da Universidade do Porto. *Educação, Sociedade e Cultura*, 48, 93-125. Disponível em http://hdl.handle.net/10216/102349

Lourenço, L. (2007). Riscos naturais, antrópicos e mistos. *Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança*, (14), 109-113. doi: 10.14195/1647-7723_14_11.

Loyens, S., Jones, S., Mikkers, J., & van Gog, T. (2015). Problem-based learning as a facilitator of conceptual change. *Learning And Instruction, 38*, 34-42. doi: 10.1016/j.learninstruc.2015.03.002«

Loyens, S. M. M., Kirschner, P. & Paas, F. (2011). Problem-based Learning. In K. R. Harris, S. Graham & T. Urdan (Eds*.), APA Educational Psychology Handbook*: Vol 2 (p.a). Washington: American Psychological Association

Loureiro, I. (2008). *A aprendizagem baseada na resolução de problemas e a formulação de questões a partir de contextos problemáticos: um estudo com professores e alunos de Física e Química*. Dissertação de Mestrado. Braga: Universidade do Minho.

Luzzi, D. (2003). A "ambientalização" da educação formal. Um diálogo aberto na complexidade do campo educativo. In E. Leff (Ed.), *A complexidade ambiental* (pp. 178-216). São Paulo: Cortez Editora.

Machado, F. (1970). *Curso de Sismologia*. Lisboa: Junta de Investigação do Ultramar.

Machado, R. (2007). Estratégia e Propostas Alternativas para Mudanças Curriculares do Curso de Graduação em Geologia da USP. *Geologia USP - Publicação Especial, 4*, 11-21. doi: 10.11606/issn.2316-9087.v4i0p11-21

Madeira, J. (2010/2011). Perigosidade vulcânica em Portugal. *Geonovas, 23 e 24*, 23-26.

Margetson, D. (1997) Why Is Problem-Based Learning a Challenge? In D. Boud & G. Feletti (Eds). *The challenge of problem based learning* (p.36-44). Londres: Kogan.

Markovics, G. (1990). The "Involvement" Component in Teaching Earth Science. *Journal of Geological Education, 38*(5), 456-457. doi: 10.5408/0022-1368-38.5.456

MacKinnon, M. (1999). CORE Elements of Student Motivation in Problem-Based Learning. *New Directions for Teaching and Learning*, 78, 49-58. doi: 10.1002/tl.7805

Majoor, G., & Aarts, H. (2010). A role for problem-based learning in higher education in the developing world. In H. Berkel, A. Scherpbier, H. Hillen, & C. Vleuten,

Lessons from Problem-Based Learning (pp. 249-257). Great Britain: Oxford University Press.

Marope, M., Griffin, P., & Gallagher, C. (2017). *Future Competences and the Future of Curriculum. A Global Reference for Curricula Transformation*. Paris: IBE-UNESCO.

Marques, F. (2010/2011) Instabilidade de vertentes: previsão, prevenção e tratamento. *Geonovas, 23, 24*, 31-33.

Marra, R., Palmer, B., & Litzinger, T. (2000). The Effects of a First-Year Engineering Design Course on Student Intellectual Development as Measured by the Perry Scheme. *Journal Of Engineering Education, 89*(1), 39-45. doi: 10.1002/j.2168-9830.2000.tb00492.x

Martins, C. (2011). *Manual de análise de dados quantitativos com recurso ao IBM SPSS: saber decidir, fazer, interpretar e redigir*. Braga: Psiquilíbrios.

Martins, E. (2005). O pensamento dos alunos no ensino superior politécnico: um estudo diferencial em função do género, idade e curso. Comunicação apresentada no VII Congresso da Sociedade Portuguesa de Ciências da Educação: Cenários da educação/formação: Novos espaços, culturas e saberes, Castelo Branco.

McConnel, T., Parker, J., & Eberhardt, J. (2017*). Problem-Based Learning in the Earth and Space science classroom, k-12*. U.S.A.: National Science Teachers Association.

McKinney, M., & Schoch, R. (2003). *Environmental Science - Systems and Solutions*. U.S.A.: Jones and Bartlet Publishers.

McKinney, M., Schoch, R., Yonavjak, L., & Mincy, G. (2017). *Environmental science: Systems and Solutions*. U.S.A.: Jones & Bartlett Learning.

McMillan, J., & Schumacher, S. (1989). *Research in Education. A Conceptual Introduction*. U.S.A.: Scott, Foresman and Company.

Mennin, S. (2010). Introduction: Sustainability of PBL and innovation in medical education at Maastricht University. In H. Berkel, A. Scherpbier, H. Hillen, & C. Vleuten, *Lessons from Problem-Based Learning* (pp. 1-4). Great Britain: Oxford University Press.

Merritts, D., Wet, A., & Menking, K. (1998). *Environmental Geology - An Earth System Science Approach*. New York: W. H. Freeman and Company.

Montgomery, C. (1995). *Environmental Geology*. USA: Wm. C. Brown Publishers.

Montgomery, H., & Donaldson, K. (2014). Using Problem-Based Learning to Deliver a More Authentic Experience in Paleontology. *Journal of Geoscience Education, 62*(4), 714-724. doi: 10.5408/13-085.1

Morgado, S., Leite, L., Dourado, L., Fernandes, C., & Silva, E. (2016). Ensino Orientado para a Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas e Ensino Tradicional: um estudo centrado em "Transformação de Matéria e Energia"*. Revista Ensaio, 18*(2), 73-98. doi: 10.1590/1983-21172016180204

Morgado, F., Pinho, R., & Leão, F. (2000). *Para um ensino interdisciplinar e experimental da Educação Ambiental*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.

Morgado, J. C. (2009). Processo de Bolonha e ensino superior num mundo globalizado. *Educação & Sociedade, 30*(106), 37-62. doi: 10.1590/S0101-73302009000100003

Moutinho, S., Torres, J., Fernandes, I. and Vasconcelos, C. (2015). Problem-Based Learning And Nature of Science: A Study With Science Teachers. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 191, 1871-1875.

Moutinho, S., Torres, J., & Vasconcelos, C. (2014). Aprendizagem Baseada em Problemas e Ensino Expositivo: um Estudo Comparativo. *Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica, 4*(1), 15-31.

Murck, B., Skinner, B. J., & Porter, S. (1996). *Environmental Geology*: U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc.

Neto, A. (2013) Para uma didática das Ciências transdiciplinar: o contributo da Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas. *Atas do Encontro sobre Educação em Ciências através da Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas*. (pp.22-32). Braga: Instituto de Educação, Universidade do Minho.

Norman, G., & Schmidt, H. (1992). The psychological basis of problem-based learning. *Academic Medicine, 67*(9), 557-65. doi: 10.1097/00001888-199209000-00002

OECD (2008). *21st Century Learning: Research Innovation and Policy - Directions from recent OECD analyses*. Centre for Educational Research and Innovation. Disponível em http://www.oecd.org/site/educeri21st/40554299.pdf

Oguz-Unver, A., & Arabacıoğlu, S. (2014). A comparison of inquiry-based learning (IBL), problem-based learning (PBL) and project-based learning (PJBL) in science education. *Academia Journal of Educational Research*. 2. 120-128. doi: 10.15413/ajer.2014.0129.

Oliveira, P. (2008). A formulação de questões a partir de contextos problemáticos: um estudo com alunos dos Ensinos Básico e Secundário. Dissertação de Mestrado. Braga: Universidade do Minho.

Oliveira, J.M.S., Farinha, J., Matos, J., Ávila, P., Rosa, C., Machado, M., Daniel, F., Martins, L. & Leite, M. (2002). Diagnóstico Ambiental das Principais Áreas Mineiras Degradadas do País. *Boletim de Minas, 39*(2), 67-85.

Orion, N., & Ault, C. (2007). Learning Earth Sciences. In S. Abell, & N. Lederman, *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 653-688). Lawrence Erlbaum Associates.

Palma, C., & Leite, L. (2006). Formulação de questões, educação em ciências e aprendizagem baseada na resolução de problemas: um estudo com alunos portugueses do 8º ano de escolaridade. In *Atas do International Conference PBL 2006 ABP*. Lima: Pontíficia Universidad Católica del Perú.

Paranhos, R., Filho, D., Rocha, E., Júnior, J., & Freitas, D. (2016). Uma introdução aos métodos mistos. *Sociologias, 18*(42), 384-411. doi: https://dx.doi.org/10.1590/15174522-018004221

Pascarella, E., & Terenzini, P. (2005). *How college affects students*. USA: Jossey-Bass.

Pavelich, M. and Moore, W. (1996). Measuring the Effect of Experiential Education Using the Perry Model. *Journal of Engineering Education, 85*(4), pp.287-292

Pedersen, S. (2003). Motivational orientation in a problem-based learning environment. *Journal of Interactive Learning Research, 14*(1), 51-77.

Pepper, C. (2009). Problem based learning in science. *Issues In Educational Research*, 19(2), 128-141. Disponível em http://www.iier.org.au/iier19/pepper.html

Pereira, D. (2007). *Nova Educação na Nova Ciência para a Nova Sociedade - Fundamentos para uma pedagogia científica contemporânea*. Porto: Universidade do Porto.

Pereira, E., & Marques, T. (2014). Trabalho Docente no Ensino Superior: o uso de técnicas e dinâmicas no processo de ensino-aprendizagem. In A. Lopes, M. Cavalcante, D. Oliveira & A. Hypólito (Orgs.) *Trabalho Docente e Formação: Políticas, Práticas e Investigação: Pontes para a mudança* (pp. 5926-5937). Porto: CIIE - Centro de Investigação e Intervenção Educativas. Disponível em https://www.fpce.up.pt/ciie/sites/default/files/TrabalhoDocenteEFormacao_Vol_IV.pdf

Pérez, J. (1995). *La Educación Ambiental – Fundamentos Teóricos, Propuestas de Transversalidad y Orientaciones Extracurriculares*. Madrid: Editorial La Muralla.

Perkins, C., Evans, M., Gavin, H., Johns, J., & Moore, J. (2001) Fieldwork and Problem-based Learning. *Planet*, *4*(1), 27-28. doi: 10.11120/plan.2001.00040027

Perry, W. (1970). *Forms of intellectual and ethical development in the college years.* Oxford: Holt, Rinehart & Winston.

Perry, W. (1981). Cognitive and ethical growth: The making of meaning. In A. Chickering & Associates, *The modern American college: Responding to the new realities of diverse students and a changing society*. San Francisco: Jossey-Bass.

Pesci, R. (2003). A pedagogia da cultura ambiental: do "Titanic" ao veleiro. In E. Leff (Ed.), *A complexidade ambiental* (pp. 131-177). São Paulo: Cortez Editora.

Piaget, J. (1950). *Introduction a l'epistemologie genetique*. Paris: Presses Universitaires de France.

Pinheiro, M. (2008). *Metodologias PBL em ambientes simulados no ensino superior profissionalizante*. (Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro). Disponível em https://ria.ua.pt/bitstream/10773/3476/1/2008001355.pdf

Pinto, R., Torres, J., Moutinho, S., Almeida, A., & Vasconcelos, C. (2015). Promover o questionamento junto de alunos de Ciências do Ensino Básico. *Interacções, (11)* 39, 667-679. doi: 10.25755/int.8767

Press, F., & Siever, R. (1998). *Understanding Earth*. U.S.A.: Freeman.

Prince, K., van Mameren, H., Hylkema, N., Drukker, J., Scherpbier, A., & van der Vleuten, C. (2003). Does problem-based learning lead to deficiencies in basic science knowledge? An empirical case on anatomy. *Medical Education, 37*(1), 15-21. doi: 10.1046/j.1365-2923.2003.01402.x

Qiang, F., & Hubble, T. (2004). Teaching Petroleum Geology in third year using problem based learning. *The China Papers*, 84-87.

Quivy, R., & Campenhoudt, L. (1998). *Manual de investigação em Ciências Sociais*. Lisboa: Gradiva.

Rahman, M., Parveen, R., Chowhury, A. & Rouf, A. (2003). Problem based learning. *Mymensingh medical journal*, *12*(1). 72-4.

Reis, P., & Camacho, G. (2009). A Avaliação da Concretização do Processo de Bolonha numa Instituição de Ensino Superior Portuguesa. *Revista Española de Educación Comparada* , 15, 41-59.

Resolução do Conselho de Ministros nº100/2017, de 8 de junho, disponível em https://dre.pt/home/-/dre/107669156/details/maximized

Rodrigues, A.; Dias, A. G. (2010). *Dispersão e contaminação, por elementos metálicos, associadas à escombreira mineira de Terramonte, Castelo de Paiva, Portugal*. Paper presented at the VIII Congresso Nacional de Geologia, Universidade do Minho.

Ronis, D. (2008). *Problem-based learning for math & science: integrating inquiry and the Internet*. USA: Corwin Press.

Santos, S. (maio de 2002). As Consequências Profundas da Declaração de Bolonha, disponível em http://paco.ua.pt/common/bin/Bolonha/Bolonha_As%20consequencias%20profundas%20da%20DB_ProfSergio%20M%20Santos.pdf, consultado em dezembro abril 2011.

Santos, A. M., Salgado, A., Barreto, J. F., Martins, H., & Dores, A. R. (2010). Problem-Based Learning e suas implicações: Breve revisão teórica. *1st ICH Gaia-Porto*, (pp. 1-8). Disponível em http://hdl.handle.net/10400.22/1404

Savery, J. (2006). Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning, 1*(1). doi: 10.7771/1541-5015.1002

Savin-Baden, M. (2004). Understanding the impact of assessment on students in problem-based learning. *Innovations in Education and Teaching International* , *41*(2), 223-233. doi: 10.1080/1470329042000208729

Schmidt, H. (1993). Foundations of problem-based learning: some explanatory notes. *Medical Education*, *27*(5), 422-432. doi: 10.1111/j.1365-2923.1993.tb00296.x

Schmidt, H., & Moust, J. (1995). What makes a tutor effective? A structural-equation modelling approach to learning in problem-based curricula. *Academic Medicine* , *70*(8), 708-714. doi: 10.1097/00001888-199508000-00015

Schmidt, H., & Moust, J. (2010). Designing Problems. In H. Berkel, A. Scherpbier, H. Hillen, & C. Vleuten, Lessons from Problem-Based Learning (pp. 31-45). Great Britain: Oxford University Press.

Schmidt, L., Nave, J., & Guerra, J. (2010). *A Educação Ambiental: Balanço e Perspectivas para uma Agenda mais Sustentável*. Lisboa: Imprensa de Ciências Sociais

Scott, C. (2015) *The Futures of Learning 1: Why must learning content and methods change in the 21st century?* (ERF Working Papers Series, Nº 13). Paris: UNESCO Education Research and Foreisight.

Shearer, P. (1999). *Introduction to Seismology.* UK: Cambridge University Press.

Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H., Stix, J., & Ballard, R. (2000). Encyclopedia of Volcanoes. USA: Academic Press.

Smith, D., Hoersch, A., & Gordon, P. (1995). Problem-Based Learning in the Undergraduate Geology Classroom. *Journal of Geological Education*, *43*(4), 385-390. doi: 10.5408/0022-1368-43.4.385

Shankar, R., Orion, N., King, C., Warrier, A., Narahari, A. & Swamy, S. (2017). Teacher training workshops in India – a report. *Journal of the Geological Society of India*, 89(2), 217-219. doi: 10.1007/s12594-017-0587-x

Shwartz, P., Mennin, S., & Webb, G. (2006). *Problem-Based Learning - Case Studies, Experience and Practice*. UK: Routledge.

Soares, A. (2014) *Recuperação ambiental da área mineira de Terramonte: monitorização de controlo*. (Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro).

Sousa, C. (2016). Problem-based learning on cell biology and ecophysiology using integrated laboratory and computational activities. *Multidisciplinary Journal For Education, Social And Technological Sciences, 3*(1), 118. doi: 10.4995/muse.2016.3763

Sefton, A. (2005). Problem-based learning. In J. Den, & R. Harden, *A pratical guide for Medical Teachers* (pp. 143-150). London: Elsevier.

Souza, K., & Lourenço, L. (2015). A evolução do conceito de risco à luz das Ciências Naturais e Sociais. Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança, (22), 31-44. doi: 10.14195/1647-7723_22_1

Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P., & McNeill, J. (2011). The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions Of The Royal Society A: Mathematical, Physical And Engineering Sciences, 369*(1938), 842-867. doi: 10.1098/rsta.2010.0327

Tarmizi, R. & Bayat, S. (2012). Collaborative problem-based learning in mathematics: A cognitive load perspective. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 32*. 344–350. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.01.051.

Teixeira, F. (2012). Educação ambiental: Um Itinerário Persistente e Crítico de Expansão de Cidadania, *Philosophica*, *40*, 95-122. Disponível em http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/24279/1/Francisco%20Teixeira%2095-122.pdf

Tenreiro-Vieira, C. (2004). Formação em pensamento crítico de professores de ciências: impacte nas práticas de sala de aula e no nível de pensamento crítico dos alunos. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 3*(3), 228-256.

Tenreiro-Vieira, C., & Vieira, R. (2000). *Promover o pensamento crítico dos alunos - propostas concretas para a sala de aula*. Porto: Porto Editora.

Torres, J., Preto, C. & Vasconcelos, C. (2013). Problem-based Learning environmental scenarios: an analysis of Science students and teachers questioning. *Journal Science of Education*, *14*(2), 71-74.

Trindade, W., Horn, A. & Ribeiro, E. (2012). Concentrações de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora-MG: geoquímica e classificação de risco ambiental, *Revista Geonomos, 20*(1), 64-75. doi: 10.18285/geonomos.v20i1.28.

Tuckman, B. (2005). *Manual de investigação em Educação*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Údias, A. (1999). Principles of Seismology. United Kingdom: Cambrige University Press.

UNESCO (2005) *Década da Educação das Nações Unidas para um Desenvolvimento Sustentável, 2005-2014: documento final do plano internacional de implementação*. Brasília: UNESCO. Disponível em http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001399/139937por.pdf

UNESCO (2009). *Communique. 2009 World Conference on Higher Education: the new dynamics of Higher Education and Research for societal change and development* (pp. 1-10). Paris: UNESCO.

UNESCO IBE (2016a). *A Conceptual Framework for Competencies Assessment*. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245195

UNESCO IBE (2016b). *Glossário de terminologia curricular*. Paris: UNESCO. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000223059_por

United Nations (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development* (General Assembly Resolution A/RES/70/1). Disponível em https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf

United Nations Millennium Summit (2000). *United Nations Millennium Declaration*. New York: United Nations, Dept. of Public Information. Disponível em http://www.un.org/millennium/declaration/ares552e.pdf

U. S. Geological Survey's Working Group on California Earthquake Probabilities (1990) *Probabilities of Large Earthquakes in the San Francisco Bay Region, California. U.S. Geological Surv. Circular, 1053*. doi: 10.3133/cir1053

Valtanen, J. (2014). Question-Asking Patterns during Problem-Based Learning Tutorials: Formal Functional Roles. *Journal of Problem Based Learning in Higher Education, 2*(1), 29-44. doi: http://dx.doi.org/10.5278/ojs.jpblhe.v2i1.1007

Vasconcelos, C. (2008). *Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas: um estudo no âmbito da Educação Ambiental*. Relatório de pós-doutoramento. Braga: Universidade do Minho.

Vasconcelos, C. (2009). A Geologia na Educação Ambiental: dos saberes científicos à intervenção pedagógica. XXIX Curso de Atualização de Professores em Geociências (pp. 23-28). Escola Superior de Educação de Lisboa: Centro Interdisicplinar de Estudos Educacionais.

Vasconcelos, C. (2010a). Teaching Environmental Education through PBL: Evaluation of a Teaching Intervention Program. *Research in Science Education, 42* (2), 219-232. doi: 10.1007/s11165-010-9192-3

Vasconcelos, C. (2010b). *Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas no Ensino da Geologia.* Provas de Agregação em Educação em Ciências. Braga: Universidade do Minho.

Vasconcelos, C. (2010c). Desafios para a Educação em Ciência no século XXI: o contributo do ensino da Geologia. In J. M. Neiva, A.. Ribeiro, L. M. Victor, F. Noronha, & M. M. Ramalho (Eds), *Ciências Geológicas-Ensino e Investigação e sua história. Volume I: Geologia Clássica*. (pp. 661-668). Lisboa: Associação Portuguesa de Geólogos/Sociedade Geológica de Portugal.

Vasconcelos, C., & Almeida, A. (2012). *Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas no Ensino das Ciências – Propostas de Trabalho para Ciências Naturais, Biologia e Geologia*. Porto: Porto Editora.

Vasconcelos, C., Faria, J., & Cardoso, A. (2018). Sustainability and case-based methodology. In K. Iwińska, M. Jones, M. Kraszewska (Eds.), *Widening Interdisciplinary Sustainability Education* (pp. 45-48). Warsaw: Collegium Civitas. doi: 10.6084/m9.figshare.7034753.

Vieira, C., & Vieira, R. (2005). *Estratégias de ensino/aprendizagem*. Lisboa: Instituto Piaget.

Vieira, P. (2007). *Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas e WebQuests: um estudo com alunos do 8º ano de escolaridade, na temática "Fontes de Energia"*. (Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho). Disponível em http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/7913

Vilaça, T., & Morgado, S. (2013). Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas e materiais didáticos. In *Atas do Encontro em Educação em Ciências através da Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas* (pp. 112-127). Braga: Universidade do Minho.

Vilelas, J. (2017). *Investigação - o processo de construção do conhecimento*. Lisboa: Edições Sílabo.

Weiss, R. (2003). Designing Problems to Promote Higher-Order Thinking. *New Directions For Teaching And Learning*, 95, 25-31. doi: 10.1002/tl.109

Wiggins, S., Chiriac, E., Abbad, G., Pauli, R., & Worrell, M. (2016). Ask Not Only 'What Can Problem-Based Learning Do For Psychology?' But 'What Can Psychology Do For Problem-Based Learning?' A Review of The Relevance of Problem-Based Learning For Psychology Teaching and Research. *Psychology Learning & Teaching, 15*(2), 136-154. doi: 10.1177/1475725716643270

Woodfork, L; & Mulder, E. (2011) *The International Year of Panet Earth - Final Report*. Neetherlands: EarthScienceMatters. Disponível em https://yearofplanetearth.org /content/downloads/IYPE-FinalReport.pdf

World Economic Forum (2016). *The Future of Jobs - Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*. Geneva, Switzerland. Disponível em http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf

World Economic Forum (2015). *New Vision for Education Unlocking the Potential of Technology*. Disponível em http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_ NewVisionforEducation_Report2015.pdf

Yew, E. & Goh, K. (2016). Problem-Based Learning: An Overview of its Process and Impact on Learning. *Health Professions Education, 2*(2), 75-79. doi: 10.1016/j.hpe.2016.01.004.

Yew, E., & Schmidt, H. (2008). Evidence for constructive, self-regulatory, and collaborative processes in problem-based learning. *Advances In Health Sciences Education, 14*(2), 251-273. doi: 10.1007/s10459-008-9105-7

Yürüker, B. (2007). Problem Based Learning PBL - A Short Introduction. Disponível em https://studmed.unibe.ch/infos/files/t_123_Einf_hrungPBL-def.pdf?ts=2014-08-25_23-52-41

Zabit, M., Karagiannidou, E., & Zachariah, T. (2016). Stimulating pre-service teacher academic achievement through problembased learning (PBL). *International Journal of Advanced and Applied Sciences, 3*(11), 30-35. doi: 10.21833/ijaas.2016.11.006

Zêzere, J.; Pereira, A., & Morgado, P. (2006). *Perigos Naturais e Tecnológicos no Território de Portugal Continental*. Disponível em http://www.apgeo.pt/files/docs/CD_X_Coloquio_Iberico_Geografia/pdfs/091.pdf

Apêndices

Apêndice I

Ficha de trabalho n.º 1 de monitorização da ABRP

U.PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Geologia e Ambiente

TRABALHO PRÁTICO Nº 1

Data: ___ / __ / _____

Nome: _____ Curso: _____ Turma: _____ Nº mecanográfico: _____

Nome: _____ Curso: _____ Turma: _____ Nº mecanográfico: _____

Nome: _____ Curso: _____ Turma: _____ Nº mecanográfico: _____

Nome: _____ Curso: _____ Turma: _____ Nº mecanográfico: _____

Nome: _____ Curso: _____ Turma: _____ Nº mecanográfico: _____

▪ **Tempo previsto:** 4 tempos letivos de 60 minutos

▪ **Objetivos:**

- Reforçar a compreensão da Teoria da Tectónica de Placas;
- Identificar os Açores como uma zona de elevado potencial em termos de risco vulcânico e sísmico;
- Conhecer o vulcanismo ativo em Portugal;
- Relacionar a distribuição do vulcanismo com a Tectónica de Placas;
- Inferir sobre o risco vulcânico global da ilha do Corvo tendo em consideração a sua história geológica;
- Elaborar uma carta de risco vulcânico tendo por base uma carta de declives e uma carta de coerência litológica;
- Interpretar um mapa topográfico;
- Apontar condicionantes que interferem no ordenamento do território, no caso da ilha do Corvo;
- Refletir sobre a importância do vulcanismo na relação Ciência – Tecnologia – Sociedade e Ambiente;
- Aprender a trabalhar colaborativamente;
- Definir estratégias para a resolução de problemas específicos.

▪ **Conceitos a mobilizar:**

Tectónica de placas, risco vulcânico, carta de declives, carta de coerência litológica, carta de risco vulcânico, risco natural, vulcanismo ativo, ordenamento do território.

Vulcanologia e prevenção dos riscos - O caso da ilha do Corvo, nos Açores

As erupções vulcânicas são talvez um dos fenómenos naturais mais complexos e variáveis, o que faz com que seja extremamente difícil a previsão do seu comportamento. A maior parte dos vulcões situa-se nos limites das placas litosféricas (95%) e só uma fração (5%) se situa no seu interior (Gómez, 1987).

A complexidade geológica e geodinâmica dos Açores explica a significativa atividade vulcânica e sísmica, registada no arquipélago, estando bem presente na memória de todos os açoreanos a famosa erupção dos Capelinhos, que durou entre 1957-58 (Gaspar *et al*, 2011). De facto, o quadro tectónico dos

Açores confere-lhes uma geodinâmica ativa, nomeadamente em termos de vulcanismo e sismicidade (Ferreira, 2005), tal como é ilustrado na figura 1.

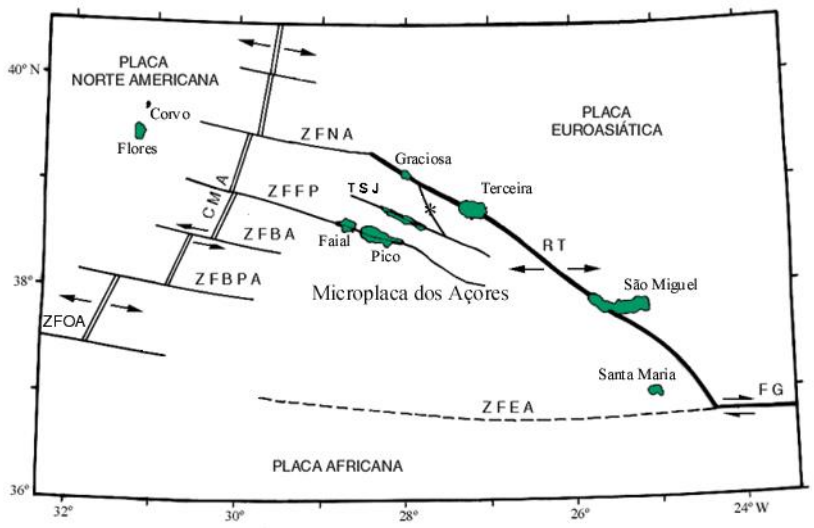


Fig. 1 – Principais acidentes tectónicos nos Açores. ZFOA – Zona de Fratura Oeste dos Açores; RT – Rifte da Terceira; ZFNA – Zona de Fratura Norte dos Açores; FG – Falha Glória; ZFBPA – Zona de Fratura Banco Princesa Alice; ZFBA – Zona de Fratura Banco Açor; ZFFP – Zona de Fratura Faial – Pico; TSJ – Transformante de São Jorge (Nunes, 1999).

De acordo com a classificação do *Catalogue of the Active Volcanoes of the World* (CAVW), patente no site do Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos (CVARG) da Universidade dos Açores, considera-se como vulcão ou sistema vulcânico ativo todos os que registaram atividade durante o Holocénico (10.000 anos). Em Portugal, os fenómenos de vulcanismo ativo nos Açores englobam 26 sistemas vulcânicos, dos quais 18 são emersos, sendo os restantes submarinos.

Das nove ilhas que compõem o arquipélago dos Açores, a do Corvo é a mais pequena. Tem uma área de 17 km^2 e 720 m de altitude máxima aproximada (Coutinho *et al*., 2009). Situa-se, juntamente com a ilha das Flores, a oeste da Crista Média-Atlântica. Pensa-se que a ilha do Corvo será da uma das mais recentes do arquipélago, segundo datações apresentadas por Ferreira (2005) – aproximadamente 0,3 M.a. De acordo com o mesmo autor, nas ilhas do Corvo, Flores e Graciosa, não foram registadas erupções vulcânicas no tempo histórico, que é bastante curto, atendendo a que a povoação das ilhas ocorreu apenas em meados do século XV.

Tal como Saavedra (1987) sustenta, o atualismo, princípio aplicado na Geologia, que utiliza a experiência do presente para interpretar fenómenos do passado, não é o caminho seguido na Vulcanologia, uma vez que esta se baseia no estudo geológico de erupções passadas para prever as futuras.

Assim, e relativamente ao estratovulcão da ilha do Corvo, este encontra-se praticamente reduzido a metade, devido à forte erosão nos flancos ocidental e norte (Ferreira, 2005). O "Caldeirão" é pois a estrutura geomorfológica dominante na paisagem e corresponde a uma caldeira com

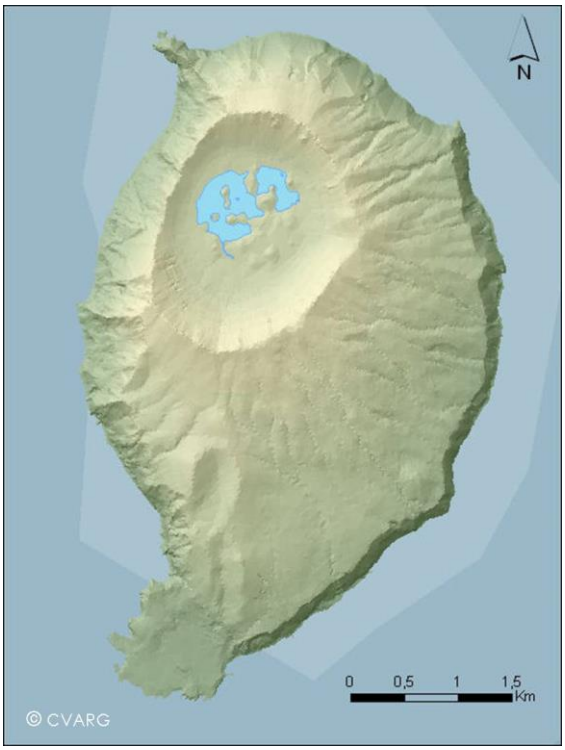


Fig. 2 - Geomorfologia da ilha do Corvo. Extraído de http://www.cvarg.azores.gov.pt/geologia-acores/corvo/Paginas/GA-Corvo-Geomorfologia.aspx, consultado em 30.04.2012.

cerca de 2000 m de diâmetro e 300 m de profundidade (França *et al.*, 2006). A arriba chega a ter 700 m de altura e continua sujeita à ação erosiva do mar, que pode ser bastante perigosa, levando a desabamentos (Ferreira, 2005).

Uma vez que a atividade vulcânica constitui um risco natural para as populações humanas, principalmente no que se refere a erupções de caráter explosivo, a defesa contra os seus efeitos assenta, por exemplo, na elaboração de mapas que determinem os riscos previsíveis (Gómez, 1987).

As cartas de risco vulcânico são um meio importante para informação sobre os planos de ordenamento do território e regulamentos que visam evitar a acumulação de riscos no futuro (Francis & Oppenheimer, 2004).



Fig. 3 – Vila do Corvo, Açores.

Imagine que é um vulcanólogo que trabalha no Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos, nos Açores, e tem a tarefa de indicar qual a melhor área para a localização do novo hospital a ser construído na ilha. Nesse sentido, foi-lhe fornecido um mapa topográfico do Corvo, como base de trabalho, na escala 1/25 000 (anexo I).

O documento final que irá apresentar ao município da Vila do Corvo deverá incluir o enquadramento geotectónico e a história evolutiva do vulcão, bem como uma carta de risco vulcânico da ilha.

1.1. Faça uma listagem dos factos e de possíveis questões que o grupo necessita de responder para resolver o problema da localização do hospital na ilha do corvo. Planifique a sua investigação e adiante igualmente algumas hipóteses que considere adequadas à resolução da questão-problema.

LISTA DE FACTOS DO PROBLEMA APRESENTADO	O QUE O GRUPO PRECISA DE SABER (Questões-problema)

Planificar investigação	
Proposta de solução	

1.2. Consultando a seguinte lista de fontes de dados, bem como outras que considere pertinentes, realize uma investigação sobre o assunto tratado no texto e elabore o respetivo relatório, bem como a carta de risco vulcânico da ilha do Corvo.

▪ **Fontes de dados**

Carta geológica ilha do Corvo, escala 1/25000.

Artigos e livros:

Coutinho, R., Pacheco, J., Wallenstein, N., Pimentel, A., Marques, R., & Silva, R. (2009). Integrating geological knowledge in planning methods for small islands coastal plans. *Journal of Coastal Research, 56*, 1199-1203.

França, Z., Lago, M., Nunes, J., Galé, C., Forjaz, V., Pueyo, O., & Arranz, E. (2006). Geochemistry of alkaline basalts of Corvo Island (Azores, Portugal): preliminary data. *Geogaceta, 40*, 87-90.

Francis, P., & Oppenheimer, C. (2004). *Volcanoes.* Great Britain: Oxford University Press.

Gómez, V. (1987). El Riesgo Vulcanico. In *Riesgos Geologicos* (pp. 83-98). Espanha: Instituto Geologico y Minero de Espana.

Guerner, A. (2007). Efeitos da Geologia no Ambiente: causas e consequências. XVII Curso de Actualização de Professores de Geociências: comunicações – itinerários – trabalhos práticos. (pp. 95-98). Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Madeira, J. (2010/2011). Perigosidade vulcânica em Portugal. *Geonovas, 23 e 24*, 23-26.

Saavedra, V. (1987). Geologia y Vulcanismo. In *Riesgos Geologicos* (pp. 45-82). Espanha: Instituto Geologico y Minero de Espana.

Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H., Stix, J., & Ballard, R. (2000). *Encyclopedia of Volcanoes.* USA: Academic Press.

Endereços eletrónicos (consultados em Maio de 2012)

Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos: http://www.cvarg.azores.gov.pt/vulcoes-activos/Paginas/vcorvo.aspx

Geological Hazards and Monitoring at the Azores (Portugal): http://www.earthzine.org/2011/04/12/geological-hazards-and-monitoring-at-the-azores-portugal/

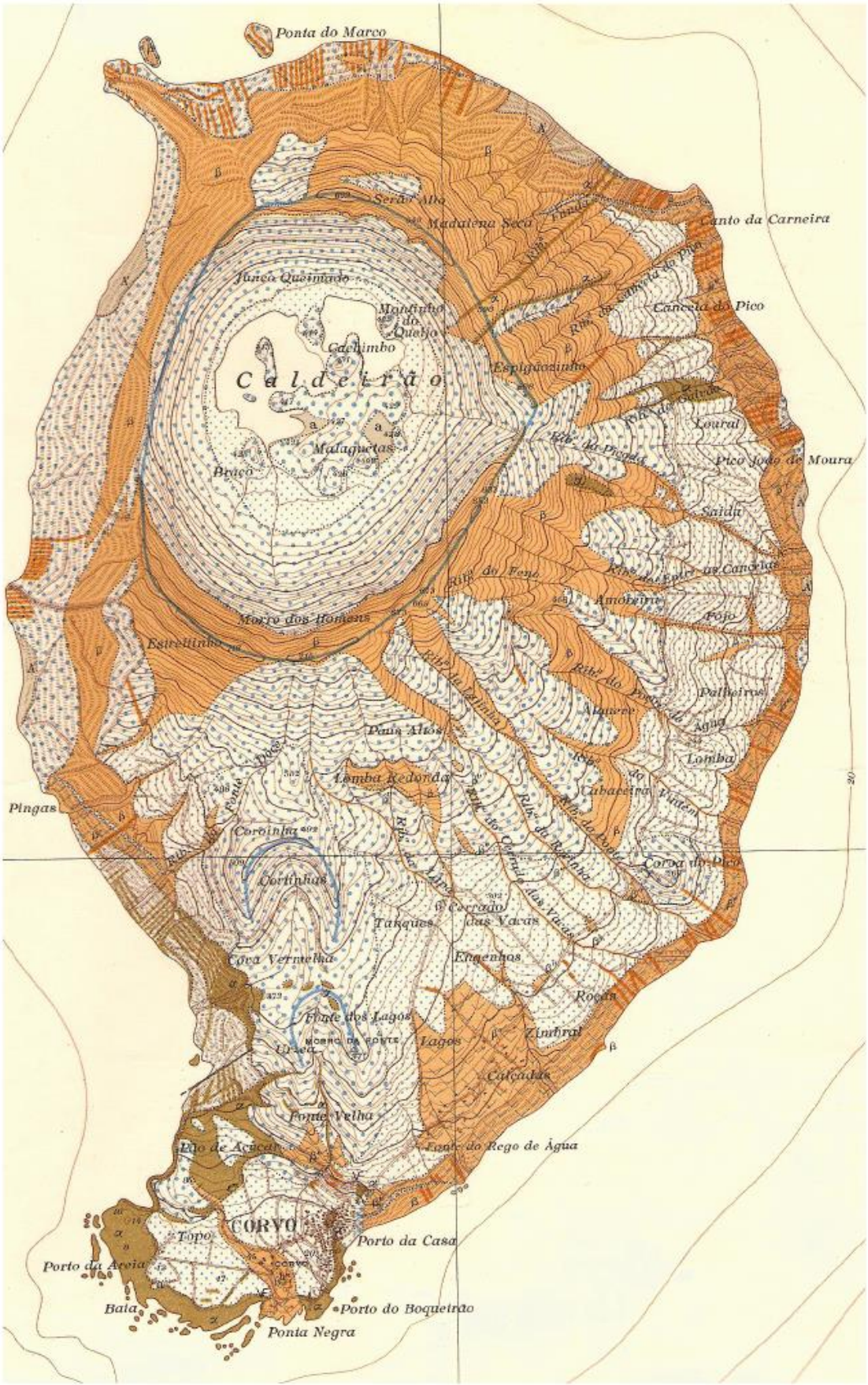
Sistema de Informação Geográfica do Ambiente e do Mar dos Açores http://sig.sram.azores.gov.pt/SIG/(S(gkk51oebgj34tf55avfgmjre))/MapViewer/SectionsViewer.aspx?id=53

▪ **Aplicação**

Após a investigação efetuada, poderá responder igualmente à seguinte questão:

- Apesar de ser provavelmente a ilha mais recente em termos de idade geológica, por que razão no Corvo não há registo histórico de erupções?

ANEXO I - Carta geológica ilha do Corvo, escala 1/25000



Rochas incoerentes

Rochas coerentes

Apêndice II

Ficha de trabalho n.º 2 de monitorização da ABRP

U.PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Ano letivo 2012/2013 **Geologia e Ambiente**

TRABALHO PRÁTICO Nº 2

Data: ___ / __ / _____

Nome: _____ Curso: _____ Turma: _____ Nº mecanográfico: _____

Nome: _____ Curso: _____ Turma: _____ Nº mecanográfico: _____

Nome: _____ Curso: _____ Turma: _____ Nº mecanográfico: _____

Nome: _____ Curso: _____ Turma: _____ Nº mecanográfico: _____

Nome: _____ Curso: _____ Turma: _____ Nº mecanográfico: _____

▪ **Tempo previsto:** 4 tempos letivos de 60 minutos cada

▪ **Objetivos:**

- Determinar o epicentro de um sismo;
- Interpretar sismogramas;
- Conhecer as escalas para avaliação de sismos;
- Determinar graficamente a magnitude de um sismo;
- Relacionar a ocorrência do sismo de Loma Prieta com o seu enquadramento geotectónico;
- Prever a ocorrência de um sismo tendo em consideração a teoria das lacunas sísmicas;
- Conhecer modos de previsão e prevenção dos efeitos dos sismos;
- Discutir os efeitos possíveis de uma previsão sísmica não confirmada;
- Aprender a trabalhar colaborativamente;
- Definir estratégias para a resolução de problemas específicos.

▪ **Conceitos a mobilizar:**

Teoria da tectónica de placas, sismo, Teoria das Lacunas Sísmicas, epicentro, hipocentro, magnitude, sismograma, sismógrafo, onda sísmica, falha, intensidade sísmica.

O CASO DO SISMO DE LOMA PRIETA

O Nuno e a Marta são dois estudantes da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto que, no futuro, gostariam de fazer um estágio nos Estados Unidos na área da sismologia, na *USGeological Survey.* Devido ao seu interesse nessa área, têm investigado sobre vários sismos que assolaram aquele país no passado. De entre as várias catástrofes que investigaram, houve uma que os impressionou bastante pelos danos materiais e humanos causados: o sismo que ocorreu em Loma Prieta, na Baía de São Francisco, a 17 de Outubro de 1989, do qual o Nuno viu um documentário no *Youtube* e encontrou algumas fotos também *online* (Figuras 1 e 2).



Figura 1 - Vista aérea da auto-estrada após o sismo de Loma Prieta (Extraída de http://gallery.usgs.gov/photos/mQHs38Vjj1_17, 2011)



Figura 2 - Vista aérea de secção colapsada, após o sismo de Loma Prieta (Extraída de http://gallery.usgs.gov/photos/mQHs38Vjj1_14, 2011)

Depois de terem visto o documentário, ficaram a saber que o epicentro do sismo tinha sido perto da região de Loma Prieta e daí a sua designação. Encontraram inclusivamente na internet uma foto com a placa a indicar o local exato (figura 3). Os dados disponíveis iam-se avolumando, à medida que a investigação prosseguia e num documento estavam até reproduzidos os sismogramas obtidos em 3 cidades americanas (Figuras 4, 5 e 6). A Marta lembrava-se que nas aulas de Biologia e Geologia do Ensino Secundário, tinha aprendido a determinar o epicentro e a magnitude de um sismo, a partir da análise de sismogramas. Assim, tratou de arranjar um mapa da região (Figura 7) e ainda um gráfico que mostrasse a relação entre o intervalo de chegada das ondas P e S ao epicentro (Figura 8), bem como um modo simples de determinar a magnitude do sismo (Figura 9).



Figura 3 – Placa indicativa do epicentro do sismo de Loma Prieta (Extraída de http://pantilat.wordpress.com/2010/01/12/the-forest-of-nisene-marks-state-park/, 2012)

Por sua vez, o Nuno verificou ainda, para seu espanto, que a probabilidade de ocorrência do sismo já tinha sido projetada em 1988, pelo *U. S. Geological Survey's Working Group on California Earthquake Probabilities.* Nessa altura foi avançada a hipótese de a secção em causa ter uma probabilidade de ruptura de 30% no período compreendido entre 1988 e 2018 (figura 10).

"- Será que, para esta previsão, os cientistas recorreram à Teoria da Lacuna Sísmica?" – indagou-se o Nuno, consultando os documentos da figura 11 "- Se eu soubesse, tal como eles, que o sismo iria ocorrer, teria avisado a população… afinal, iria ser benéfico para todos!".

"- Eu não sei se o teria feito… e se não houvesse o sismo?... – replicou a Marta.

“- Pois, é uma questão relevante, de facto. Mas sabes que, na Califórnia, devido à existência da falha de Santo André, há uma grande preocupação das autoridades em alertar a população para a probabilidade de ocorrer um sismo de grandes dimensões… chamam-lhe até o *Big One*. Sei que chegaram a fazer uma simulação envolvendo 5 milhões de californianos, em 2008.”

“ - Sim, mas numa simulação as pessoas não reagem como numa situação real… não concordas? Já agora, na falha de Santo André, onde achas que irá ocorrer o próximo sismo, Nuno?”

SISMOGRAMAS OBTIDOS EM ELKO, EUREKA E LAS VEGAS

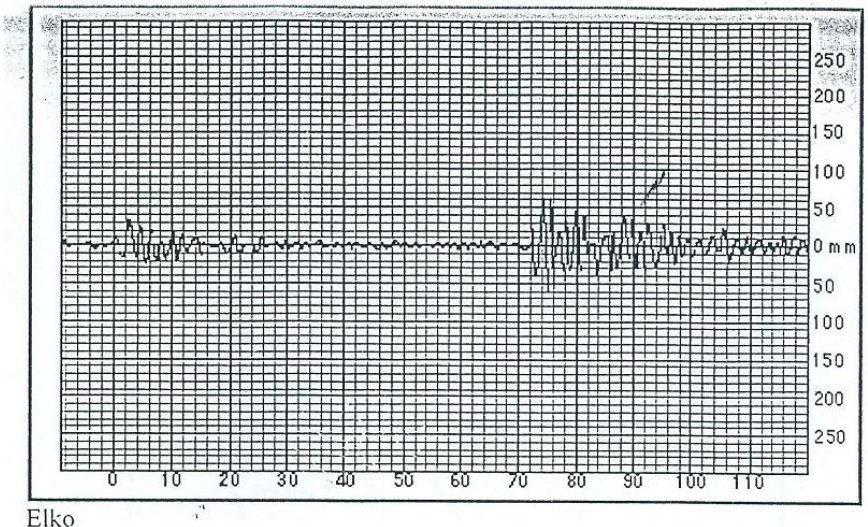


Figura 4 – Sismograma obtido em Elko.

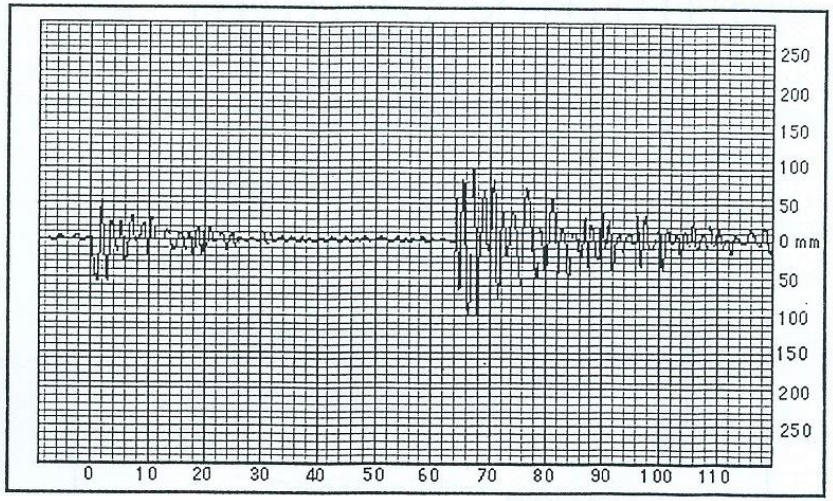


Figura 5 – Sismograma obtido em Las Vegas,

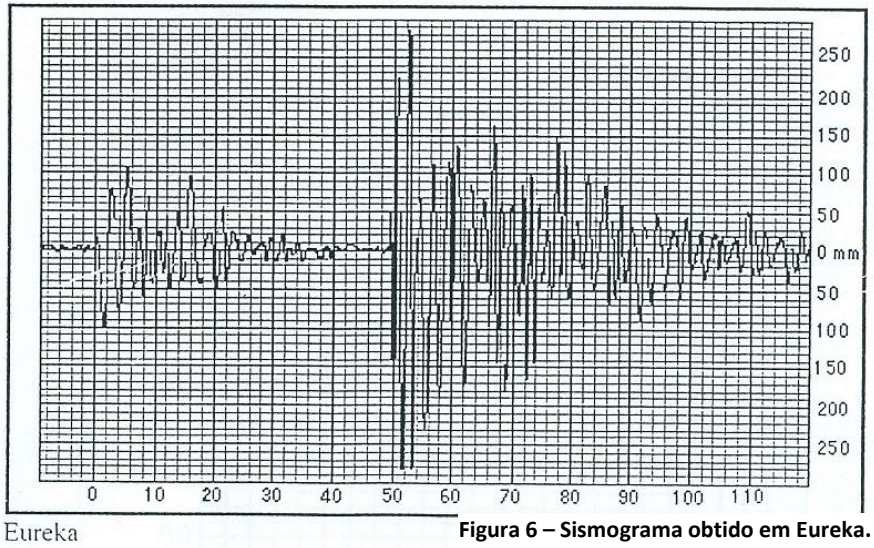


Figura 6 – Sismograma obtido em Eureka.

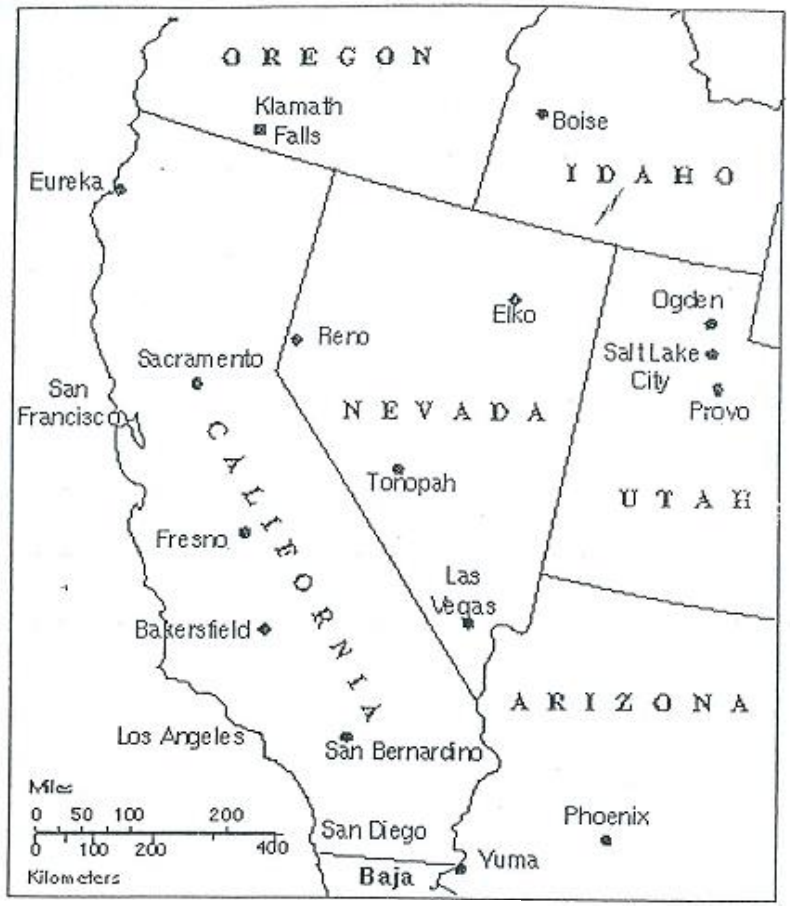


Figura 7– Mapa da região da Califórnia, EUA.

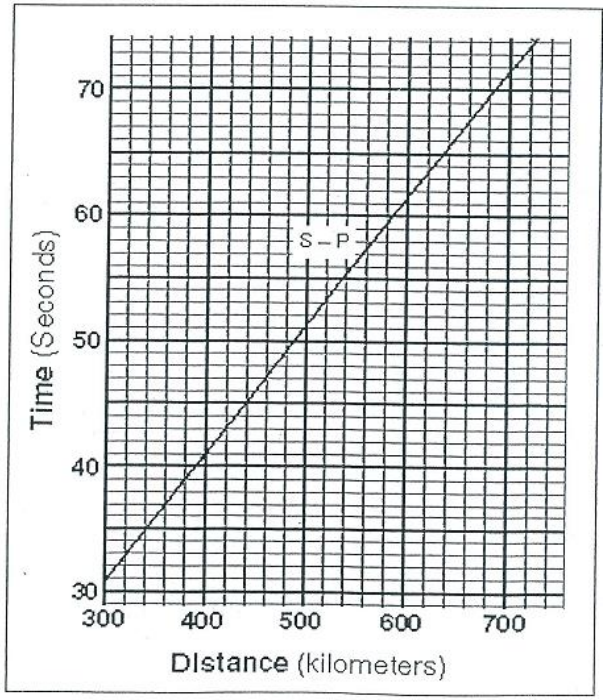


Figura 8 – Relação entre o intervalo de chegada das ondas P e S e a distância ao epicentro.

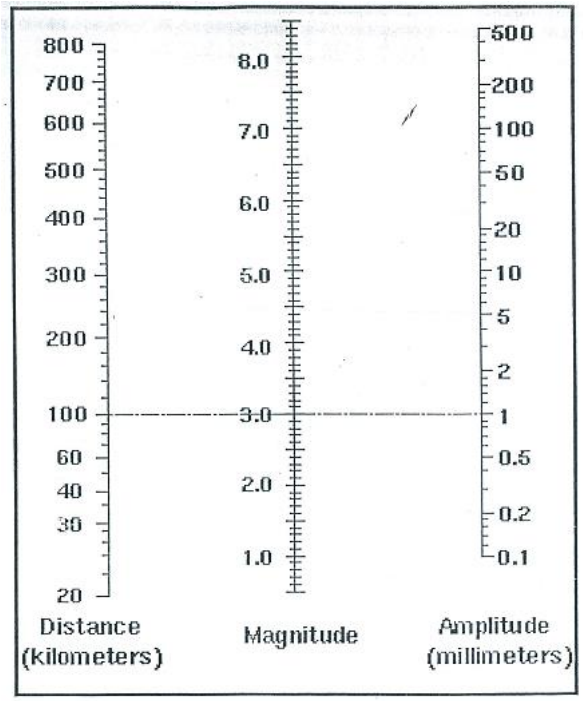


Figura 9 – Determinação gráfica da magnitude de um sismo.

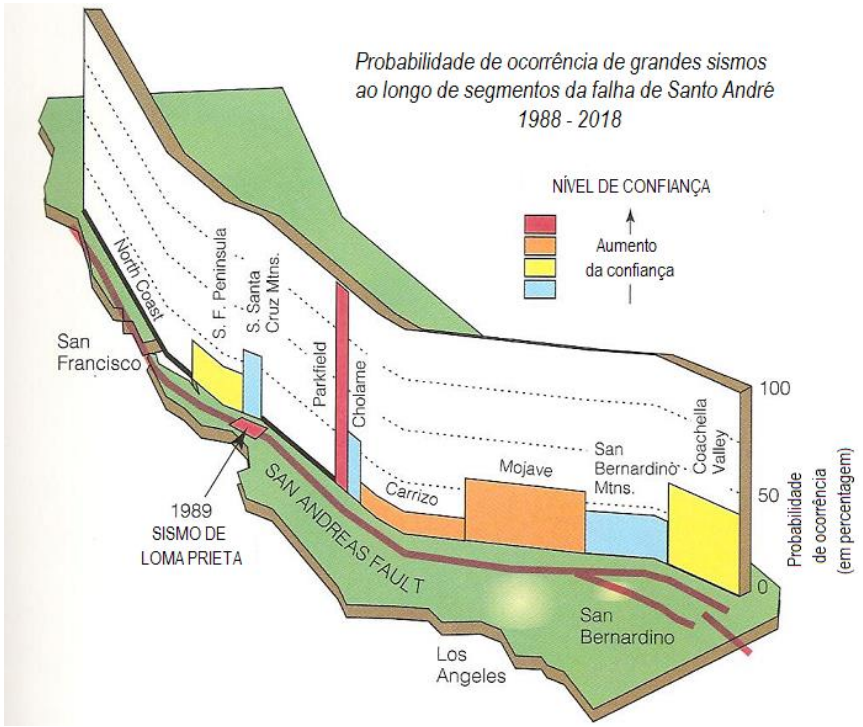


Figura 10 – Mapa de previsão sísmica elaborado em 1988 pelo *U. S. Geological Survey's Working Group on California Earthquake Probabilities.* A altura das barras indica a probabilidade estimada de um sismo de magnitude 6,5-7 no período 1988-2018; a cor das barras indica o nível de confiança na estimativa.

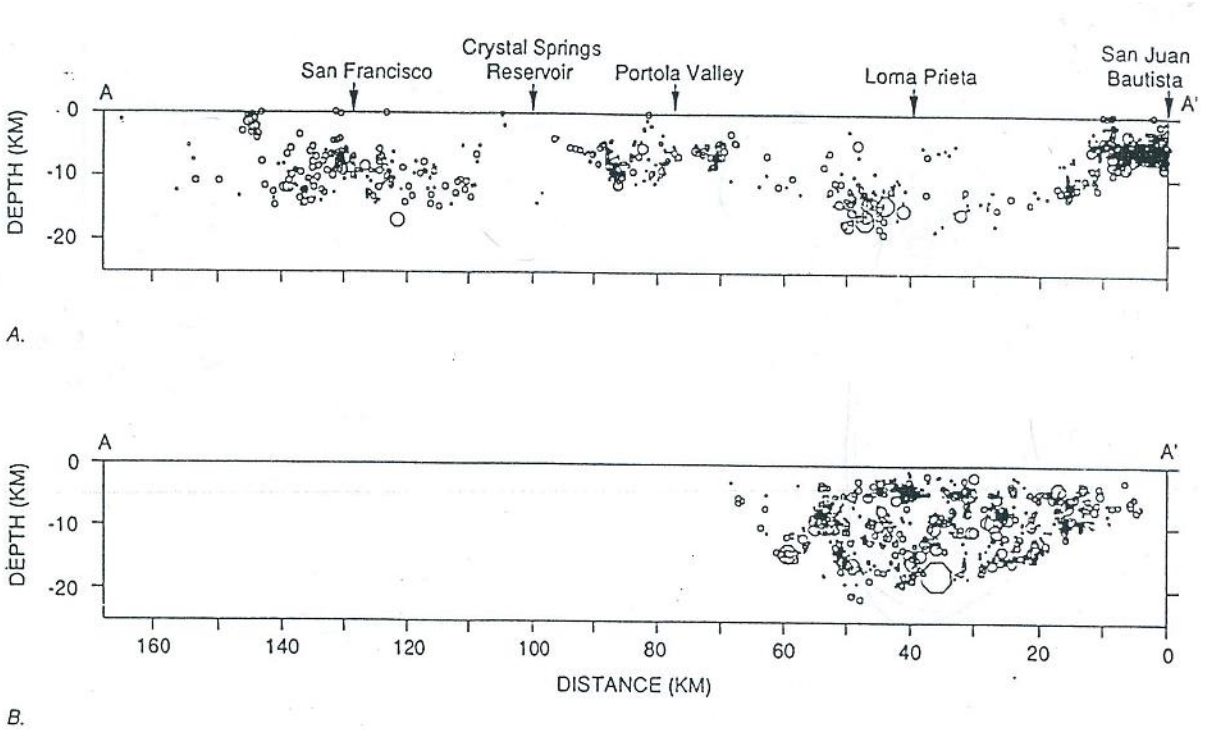


Figura 10A – Sismicidade (1969-1989) ao longo da falha de Santo André, antes do terramoto de Loma Prieta. O tamanho dos símbolos aumenta com o aumento da magnitude. 10B – O sismo de Loma Prieta e réplicas (Working Group, 1990).

1.1. Após a leitura do texto e tendo em consideração todos os dados apresentados, faça uma listagem dos factos e de possíveis questões que o grupo necessita de responder para resolver o do caso do sismo de Loma Prieta. Planifique a sua investigação e adiante igualmente algumas hipóteses que considere adequadas à resolução das questões-problema.

LISTA DE FACTOS DO PROBLEMA APRESENTADO	O QUE O GRUPO PRECISA DE SABER (Questões-problema)
Planificar investigação	
Proposta de solução	

1.2. Para conseguir responder às questões levantadas, investigue nas fontes de dados abaixo indicadas, bem como outras que considere relevantes. Depois, use os conhecimentos construídos para elaborar o relatório final da sua investigação em que inclua os seguintes pontos:

- determinação gráfica do epicentro do sismo de Loma Prieta, bem como da sua magnitude;

- explicação da teoria das lacunas sísmicas;

- previsão de um eventual sismo na falha de Santo André tendo em consideração essa teoria;

- métodos alternativos para realizar uma previsão sísmica;

- argumentação sobre os benefícios e desvantagens das previsões sísmicas, tendo em consideração a relação entre Ciência – Tecnologia – Sociedade – Ambiente.

▪ Fontes de dados

Artigos e livros:

Cabral, J. (2010/2011). A paleossismologia na avaliação da perigosidade sísmica. *Geonovas, 23 e 24*, 15-17.

Moura, R. & Fernandes, I. (2007). Sismologia prática. (pp. 75-81). Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Shearer, P. (1999). *Introduction to Seismology.* UK: Cambridge University Press.

Údias, A. (1999). *Principles of Seismology.* United Kingdom: Cambrige University Press.

Endereços eletrónicos (consultados em Maio de 2012):

Historic Earthquakes - Santa Cruz Mountains (Loma Prieta), Califórnia
http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/states/events/1989_10_18.php

How Do I Locate That Earthquake's Epicenter? http://www.geo.mtu.edu/UPSeis/locating.html

The Loma Prieta Seismic Gap http://sepwww.stanford.edu/oldsep/joe/fault_images/lpgap.html

When the Bay Area Quakes http://www.youtube.com/watch?v=0z2VD-b9bSA

▪ Aplicação

Tendo em consideração o mapa de sismicidade da figura 11, tente explicar a distribuição dos sismos registados e argumente sobre a necessidade de serem utilizados diversos tipos de métodos no caso da previsão sísmica.

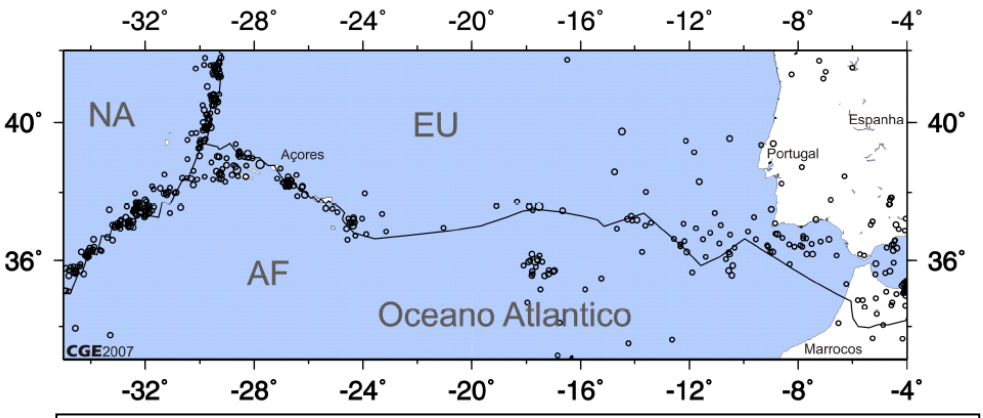


Figura 11 – Enquadramento tectónico e estrutura tectónica dominante. As placas tectónicas envolvidas são indicadas por NA (América do Norte), EU (Eurásia) e AF (África). Os círculos representam a sismicidade, com magnitude M ≥ 4.0, da região Açores-Gibraltar para o período 1973-2004. Extraído de http://www.alentejolitoral.pt/Downloads/Ambiente/Riscos%20S%C3%ADsmicos/Actividade%20s%C3%ADsmica%20em%20Portugal.pdf

Apêndice III

Ficha de trabalho n.º 3 de monitorização da ABRP

U.PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Ano letivo 2012/2013 **Geologia e Ambiente**

TRABALHO PRÁTICO Nº 3

Data: ___ / __ / _____

Nome: _____ Nº mecanográfico: ____ Curso: _____

Nome: _____ Nº mecanográfico: ____ Curso: _____

Nome: _____ Nº mecanográfico: ____ Curso: _____

Nome: _____ Nº mecanográfico: ____ Curso: _____

Nome: _____ Nº mecanográfico: ____ Curso: _____

▪ **Tempo previsto:** 2 tempos letivo de 60 minutos

▪ **Objetivos:**

- Descrever consequências para os ecossistemas e para a saúde humana decorrentes da exploração dos recursos minerais;
- Determinar o índice de geoacumulação de determinados elementos químicos presentes em sedimentos;
- Identificar possíveis formas de eliminar resíduos que são consequência da extração e/ou transformação de recursos minerais;
- Reconhecer medidas integradas de gestão de recursos como contributo para a Sustentabilidade na Terra;
- Aprender a trabalhar colaborativamente;
- Definir estratégias para a resolução de problemas específicos.

▪ **Conceitos a mobilizar:**

Recursos naturais, exploração mineira, escombreira, biodiversidade, biosfera, atmosfera, poluição, hidrosfera, impacte ambiental, gestão sustentável dos recursos, índice de geoacumulação, contaminação geoquímica.

O CASO DA MINA ABANDONADA

O Joaquim vive no Porto, mas herdou um terreno que era do seu avô, numa aldeia no interior de Portugal. Apesar de nunca ter pensado muito no assunto, este facto agora era bastante importante. Estava a pensar seriamente em candidatar-se a um programa de apoio aos agricultores portugueses e mudar-se de "armas e bagagens" para Raiva, a terra natal do seu avô. Claro que, antes de mais, começou por pesquisar no *Google Maps* a sua localização para perceber o enquadramento e as potencialidades do terreno herdado. Ficou contente por verificar que o mesmo se situava junto à chamada "Ribeira de Castanheira", que desagua no Douro, pois a questão do cultivo ficaria facilitada pela abundância de água. Simultaneamente, vieram-lhe à memória as recordações de infância e as histórias que se contavam da mina de Terramonte, lá próxima, que nos anos 60 do século XX era uma das principais produtoras de prata a nível europeu. Resolveu assinalá-la no mapa (letra A - figura 1) e pesquisar mais sobre a história da mina que, segundo tinha ouvido dizer, já não estava a laborar há várias dezenas de anos. Deparou-se então com uma notícia de 2003 do Jornal Público:

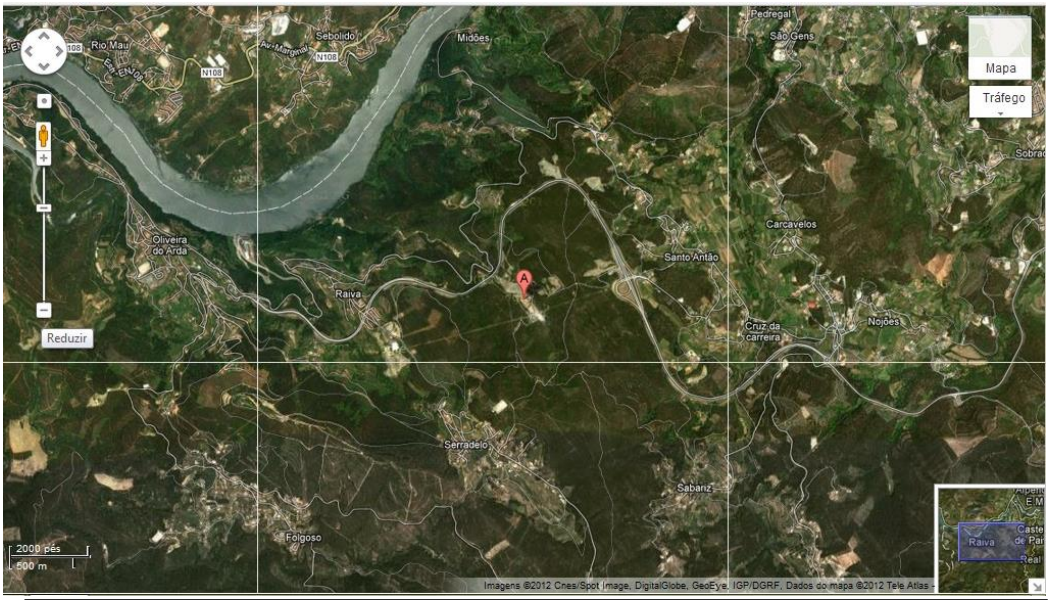


Figura 1 – Localização da mina de Terramonte (Castelo de Paiva) – local assinalado pela letra "A". Extraído de www.googlemaps.com.

No cimo de um vale e a cerca de cinco quilómetros, em linha reta, das margens do Douro. É aqui que, ao longo de vários anos, se têm acumulado toneladas de pó de minério das escombreiras da mina de Terramonte. Um dos habitantes de Raiva e antigo trabalhador da mina, não esconde a sua indignação e vai dizendo que as autoridades competentes conhecem o problema. "Mas, como não moram cá, não querem saber."

Enquanto nos gabinetes se repensam estratégias de ação e se controlam os gastos com o ambiente, no terreno são as populações que se sentem abandonadas à sua sorte e ao desinteresse coletivo. No caso de Terramonte, as escombreiras são transportadas até ao Douro, sendo possível acompanhar o trajeto do caudal, dado que os antigos lameiros, onde em tempos se produzia milho, melões e pepino, estão atualmente transformados em campos improdutivos, cobertos com uma camada amarelada e espessa de pó.

A situação assume-se mais perigosa a partir do momento em que análises laboratoriais provam que o pó está carregado de chumbo e de ferro. O risco para a saúde pública é ainda mais real quando se sabe que a cerca de 500 metros a jusante deste depósito existem duas estações de tratamento e captação de água para consumo doméstico: as de Raiva e de Portela/Raiva. "Sabemos que o pó tem produtos químicos e que a água está a ser captada para consumo humano. Todos conhecem o risco, mas está tudo na mesma", declara, revoltado, António Rodrigues, presidente da junta de freguesia de Raiva.

Porém, Terramonte é uma gota de água num universo de 150 explorações mineiras abandonadas, segundo um levantamento de Instituto Geológico e Mineiro (IGM). Recentemente, a mesma entidade apresentou o

"Diagnóstico Ambiental das Principais Áreas Mineiras Degradadas do País", que excluía as minas de metais radioativos, e as conclusões são claras. Das 85 explorações mineiras analisadas, treze requerem uma "intervenção urgente". http://www.publico.pt/Sociedade/recuperacao-ambiental-de-minas-sem-verba-ha-dez-meses-1172764?all=1

A notícia deixou-o preocupado. Os seus planos para o futuro não eram tão certos como afinal julgava. Continuou a sua investigação e descobriu que a antiga área mineira foi intervencionada através de obras de recuperação, entre 2005 e 2008, pela Empresa de Desenvolvimento Mineiro – EDM. Este facto deixou-o mais descansado. Contudo, ao prosseguir a sua busca na internet, reparou num dado inquietante: nos anos 80 houve a derrocada de um dos muros de sustentação das escombreiras, o que levou à dispersão de materiais ao longo da Ribeira da Castanheira, não se tendo verificado nenhuma "operação de limpeza" neste caso. Os materiais resultantes ficaram sujeitos ao transporte por ação das águas e do vento. Aliás, as fotografias tiradas no local testemunhavam a alteração da cor das águas da Ribeira, não havendo perspetivas de recuperação deste curso de água (figura 2).



Figura 2 – Acumulação de rejeitados mineiros na Ribeira da Castanheira, 400 m para jusante da escombreira. É visível o grande volume de materiais instáveis e as águas da Ribeira da Castanheira com uma coloração laranja que os atravessa. (Extraído de Rodrigues, A., 2009)

Joaquim decidiu agir rapidamente, compilando o maior número de dados possível relacionados com a poluição da ribeira, acabando por encontrar os que estão nas tabelas 1 e 2. O seu objetivo era perceber quais os elementos químicos que estariam a poluir a Ribeira de Castanheira e elaborar um relatório final para entregar ao Presidente da Junta de freguesia de Raiva.

	Concentração de elementos metálicos (mg/kg)			pH
Amostras	**Cu**	**Pb**	**Zn**	
300	n.d.	1209	501	3,1
500	n.d.	975	472	3,6
700	502	641	305	4,4
1000	677	234	202	6,1
1200	819	165	131	6,3
1500	987	99	81	6,7

n.d. – abaixo do limite de deteção.

Tabela 1 – Concentrações (mg/kg) de elementos metálicos presentes em seis amostras de sedimentos recolhidas no leito da Ribeira da Castanheira (Adaptado de Rodrigues, A, 2009)

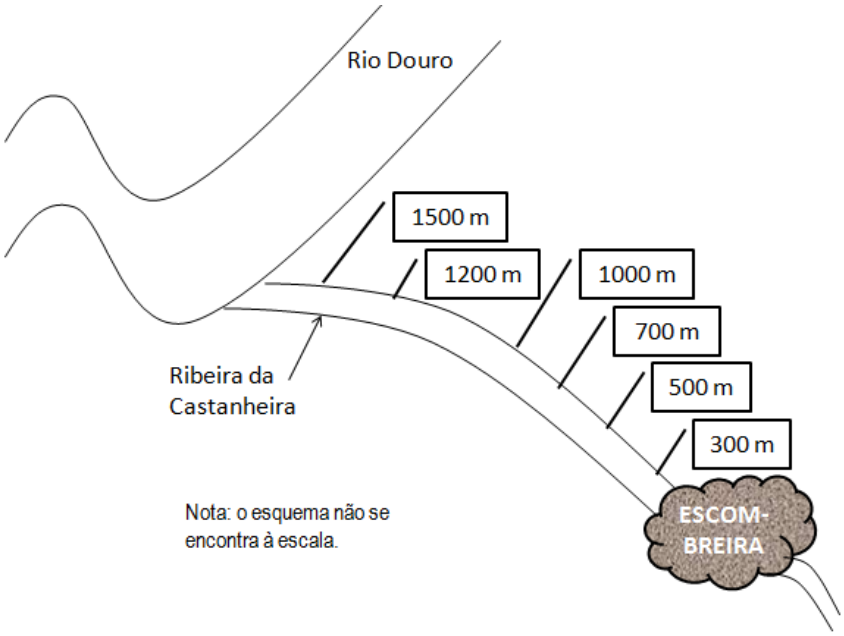


Figura 3 – Locais de amostragem de sedimentos referentes à tabela 1.

Amostras	Concentração de elementos metálicos (mg/kg)		
	As	Pb	Zn
SR	15,1	187,9	142,0
S1	206,0	3020,50	2340,9
S2	27,1	635,8	840,9

Tabela 2 – Concentrações (mg/kg) de elementos metálicos presentes em solos recolhidos ao longo da Ribeira da Castanheira (S1 e S2) e numa quinta nas imediações da antiga área mineira de Terramonte (solo de referência – SR) (Extraído de Rodrigues, 2009)

1.1. Após a leitura do texto e tendo em consideração todos os dados apresentados, faça uma listagem dos factos e de possíveis questões que o grupo necessita de responder para resolver o caso do impacte ambiental da mina abandonada de Terramonte. Planifique a sua investigação e adiante igualmente algumas hipóteses que considere adequadas à resolução das questões-problema.

LISTA DE FACTOS DO PROBLEMA APRESENTADO	O QUE O GRUPO PRECISA DE SABER (Questões-problema)
Planificar investigação	
Proposta de solução	

1.2. De modo a complementar o estudo relativo ao problema do impacte ambiental da mina abandonada de Terramonte, é possível calcular o Índice de Poluição (ou Índice de Geoacumulação) de acordo com a seguinte fórmula:

$$I_{geo} = \log_2(C_n / K.B_n)$$

Em que:
C_n – concentração do elemento químico "**n**" na fracção argilosa
K – o factor da correção do fundo geoquímico da região (K =1.5)
B_n – o fundo geoquímico do elemento "**n**"
(Cu = 50 mg/kg; Pb = 70 mg/kg; Zn = 30 mg/kg)

1. Determine o Índice de Geoacumulação para cada uma das amostras de sedimentos recolhidas.

	Elementos químicos					
	Cu		Pb		Zn	
Amostras	Índice Geoacum.	Intens. Poluição	Índice Geoacum.	Intens. Poluição	Índice Geoacum.	Intens. Poluição
300						
500						
700						
1000						
1200						
1500						

2. Verifique se é possível estabelecer algum padrão para a dispersão daqueles elementos.
3. Construa uma Carta que represente a poluição, em consequência da dispersão daqueles elementos, de acordo com a seguinte classificação:

Intensidade da poluição	I_{geo}	Classe I_{geo}	Cor
Fortemente poluído	**$I_{geo} > 5$**	**6**	
Fortemente poluído a muito poluído	**$4 < I_{geo} < 5$**	**5**	
Muito poluído a poluição moderada	**$3 < I_{geo} < 4$**	**4**	
Poluição moderada	**$2 < I_{geo} < 3$**	**3**	
Poluição moderada a pouco poluído	**$1 < I_{geo} < 2$**	**2**	
Pouco poluído a não poluído	**$0 < I_{geo} < 1$**	**1**	
Não poluído	**$I_{geo} < 0$**	**0**	

1.3. Para conseguir responder às questões levantadas, investigue nas fontes de dados abaixo indicadas, bem como outras que considere relevantes. Depois, use os conhecimentos construídos para elaborar o relatório final da sua investigação em que inclua os seguintes pontos:

- efeitos negativos causados pelo abandono na mina de Terramonte;

- determinação do índice de Geoacumulação para os elementos químicos Cu, Pb e Zn;

- consequências para a saúde humana causadas pela contaminação proveniente da Ribeira da Castanheira.

▪ Fonte de dados

Artigos e livros:

- Campos, L. (Abril de 2010). Água e Minas. *Revista National Geograhic*.
- Carvalho, M. (2010/2011). Arsénio: um contaminante natural. *Geonovas, 23 e 24*, 37-38.
- Gonçalves, M. (2010/2011). Drenagem ácida de minas. *Geonovas, 23 e 24*, 31-40.
- Rodrigues, A.; & Dias, A. Guerner (2010) Dispersão e contaminação, por elementos metálicos, associadas à escombreira mineira de Terramonte, Castelo de Paiva, Portugal. *VIII Congresso Nacional de Geologia*. Vol. I, pp.1-4. Braga: Universidade do Minho.
- Silva, E. (2010/2011). O impacto do As, Hg, Se e I na saúde humana e ambiente. *Geonovas, 23 e 24*, 35-36.

Endereços eletrónicos (consultados em Maio de 2012)

- A Herança das Minas Abandonadas http://www.edm.pt/html/livro.html
- Empresa de Desenvolvimento Mineiro http://www.edm.pt/
- Riscos geoquímicos em minas abandonadas http://www.alentejolitoral.pt/Downloads/Ambiente/Riscos%20Geol%C3%B3gicos/Riscos%20geoqu%C3%ADmicos%20em%20minas%20abandonadas.pdf
- Roteiro das Minas e Pontos de Interesse Mineiro e Geológico de Portugal www.roteirodeminas.pt

▪ Aplicação

As minas abandonadas têm constituído uma preocupação em todo o mundo, comportando, em muitos casos, uma pesada herança nos domínios ambiental e de segurança não devidamente salvaguardados aquando da exploração mineira; mas constituem também um património (material e imaterial) único, de elevado potencial e de grande relevância para o conhecimento da história do homem e da sua relação com a natureza.

Extraído de Coke, C., Favas, P. e Bernardo Lemos, J. (2011) *O Roteiro das Minas e Pontos de Interesse Mineiro e Geológico de Portugal – Um Contributo para o Conhecimento e Valorização do Património Mineiro*.

Aponte algumas das atividades de carácter lúdico, científico ou cultural, que podem ser desenvolvidas em locais como Terramonte, e dirigidas aos público em geral.

Apêndice IV

Ficha de trabalho n.º 4 de monitorização da ABRP

U.PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Ano letivo 2012/2013 **Geologia e Ambiente**

TRABALHO PRÁTICO Nº 4

Data: ___ / __ / _____

Nome: _____ Nº mecanográfico: ____ Curso: _____

Nome: _____ Nº mecanográfico: ____ Curso: _____

Nome: _____ Nº mecanográfico: ____ Curso: _____

Nome: _____ Nº mecanográfico: ____ Curso: _____

Nome: _____ Nº mecanográfico: ____ Curso: _____

▪ **Tempo previsto:** 4 tempos letivos de 60 minutos

▪ **Objetivos:**

- Distinguir os dois principais tipos de fatores que influenciam a estabilidade das vertentes (condicionantes e desencadeantes);
- Conhecer diferentes exemplos de fatores desencadeantes dos movimentos de massa;
- Identificar fatores desencadeantes de origem antrópica;
- Refletir sobre as medidas que devem ser tomadas para evitar a instabilidade das vertentes;
- Interpretar resultados experimentais, simulando diferentes condições para a ocorrência de deslizamento de vertentes.

▪ **Conceitos a mobilizar:**

Risco geológico, movimentos de massa, deslizamento de vertentes, fatores condicionantes, fatores desencadeantes, prevenção.

CASO: A instabilidade das zonas de vertente

João – Ontem no noticiário vi uma reportagem sobre um deslizamento de terras em Maierato, Itália. Agora que reparo, também está aqui disponível online…

Maria – Por acaso, não ouvi dizer nada sobre isso… mas deixa-me adivinhar… tinha chovido há pouco tempo?

João – Sim… como é que sabes?

Maria – As zonas de vertente estão sujeitas a fatores de risco de vária ordem, como por exemplo a mudança das condições hidrogeológicas, o que pode contribuir muito para a "erosão hídrica"…

João – Desculpa, mas não entendo. Se tivermos um monte de areia seca e lhe acrescentarmos água, o grau de coesão dos grãos de areia aumenta, não diminui. De outro modo, seria impossível, por exemplo, fazer esculturas na praia…

Maria – Estás a comparar situações diferentes, na minha opinião... Em primeiro lugar, os movimentos de massa são sobretudo o resultado do efeito da gravidade. Sei até que atendendo ao número de vítimas que provocam, são o 3º maior risco natural em todo o mundo, depois dos terramotos e inundações… Já agora,

olha o que diz aqui neste site: o deslizamento de terras com maior número de vítimas ocorreu em 1920, na China, com a morte de 100 000 pessoas!

João – Pois, isso é uma verdadeira catástrofe! Lembro-me também de um documentário no qual referiram que um povoado (Güevéjar) na região de Granada foi destruído por duas ocasiões devido a movimentos de massa. Ambos foram desencadeados por terramotos: o de Lisboa de 1755 e o da Andaluzia de 1884. Por isso, existem muitos fatores implicados na ocorrência de movimentos de massa.

Maria – Sim, mas nem todos são da mesma natureza. Creio é que se fossem tomadas as devidas medidas de prevenção, poder-se-iam provavelmente mitigar os efeitos destas situações. Já agora, podíamos tentar fazer simulações em laboratório de alguns dos fatores que influenciam os movimentos de massa… que dizes, João?

João - Boa ideia! Vamos experimentar?

1.1. Após a leitura do texto e tendo em consideração todos os dados apresentados, faça uma listagem dos factos e de possíveis questões que o grupo necessita de responder para resolver o caso da instabilidade das zonas de vertente. Planifique a sua investigação e adiante igualmente algumas soluções que considere adequadas à resolução das questões-problema.

LISTA DE FACTOS DO PROBLEMA APRESENTADO	O QUE O GRUPO PRECISA DE SABER (Questões-problema)
Planificar investigação	
Proposta de solução	

1.2. Para conseguir responder às questões levantadas, investigue nas fontes de dados abaixo indicadas, bem como outras que considere relevantes. Depois, use os conhecimentos construídos para elaborar o relatório final da sua investigação em que inclua os seguintes pontos:

- distinção entre fatores condicionantes e desencadeantes que contribuam para a instabilidade das vertentes;

- descrição das medidas de prevenção que podem ser aplicadas para evitar os movimentos de massa;

- V de Gowin resultantes do trabalho laboratorial, conforme orientações em anexo.

▪ Fontes de dados

Artigos e outros documentos:

- Brum Ferreira, A. (1997) Deslizamentos e Desabamentos – Movimentos de Terreno em Portugal. *Protecção Civil*, 13, 9 – 15.
- Gijon, M. (1987). Deslizamentos, desprendimentos, flujos y avalanchas. In *Riesgos Geologicos* (pp. 45-82). Espanha: Instituto Geologico y Minero de Espana.
- Llorens, R., & Masquef, A. (2009).Movimentos de ladera. *Enseñanza de las Ciencias de la Terra, 17.3*, 284-294.
- Marques, F. (2010/2011) Instabilidade de vertentes: previsão, prevenção e tratamento. *Geonovas*, 23 a 24. 31-33.

Endereços eletrónicos (consultados em Maio de 2012)

- Movimentos de vertentes. Deslizamentos translacionais em Maierato, Calabria, Itália http://www.youtube.com/watch?v=f9CeDGY5QuQ
- Movimentos de massa no Norte de Portugal – Factores da sua ocorrência

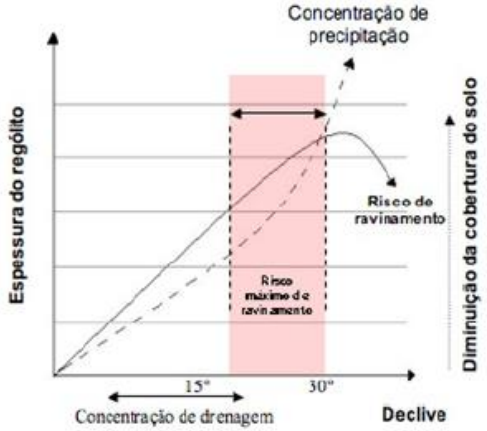
http://web.letras.up.pt/dynat/PDF/Movimentos%20de%20Massa%20no%20Norte%20de%20Portugal.pdf

▪ Aplicação

A formação de ravinas, está certamente ligada a aspectos naturais como o declive, a geologia ou as características climáticas, mas têm também na sua génese o papel do Homem.

Extraído de Pedrosa, A, & Martins, B. (2011) *As formações superficiais no Norte de Portugal e suas implicações nos processos erosivos actuais*.

Relacione os fatores expressos no gráfico com a influência do Homem na formação de ravinas.



ANEXO I

Ala conceptual (saber) — Ala metodológica (fazer)

Princípios

QUESTÃO CENTRAL

Qual a relação entre a inclinação e a presença de água numa vertente?

Conclusões

Resultados

Situação experimental	Inclinação	Medições				
		1	2	3	4	Média
Montanha de areia seca derramada lentamente	$i = \frac{e}{(\frac{b}{2})}$					
Montanha de areia seca derramada rapidamente	$i = \frac{e}{(\frac{b}{2})}$					
Montanha de areia molhada	$i = \frac{e}{(\frac{b}{2})}$					
Montanha de areia molhada compactada	$i = \frac{e}{(\frac{b}{2})}$					

Conceitos

Volume (areia + água) = 400 ml areia + 50 ml água = ____ ml de areia com água

Procedimento: 1. Após medir 400 ml de areia seca num copo, derramá-la lentamente no centro de uma folha A3 (o objetivo é criar uma montanha de areia com altura e inclinação máximas). Medir a inclinação da vertente da "montanha" utilizando a fórmula $i = \frac{e}{(\frac{b}{2})}$, em que i= inclinação; e = altura da montanha; b = diâmetro da base. Repetir este procedimento quatro vezes e determinar a média. Registar os resultados na tabela. Repetir todo os passos atrás descritos, mas derramando a areia rapidamente de forma controlada no centro de uma folha A3 (o objetivo **não** é criar uma montanha de areia com altura e inclinação máximas).

2. Após medir 400 ml de areia seca num copo, derramar numa superfície lisa e adicionar 50 ml de água de modo a que os grãos pareçam igualmente húmidos. Colocar a areia molhada num copo e registar o volume de areia com água. Derramar com cuidado a areia no centro de uma folha A3 (o objetivo é criar uma montanha de areia com uma altura e inclinação máximas). Medir a inclinação utilizando a fórmula $i = \frac{e}{(\frac{b}{2})}$. Repetir este procedimento quatro vezes e registar os valores obtidos. Utilizando as mãos, com a areia molhada do procedimento anterior, comprimir a areia de modo a dar-lhe a forma de uma montanha, o mais simétrica possível e com a inclinação máxima. Medir a inclinação utilizando a fórmula $i = \frac{e}{(\frac{b}{2})}$. Repetir este procedimento quatro vezes e registar os valores obtidos.

ANEXO II

Ala conceptual (saber)

Ala metodológica (fazer)

Princípios

QUESTÃO CENTRAL

Qual a influência da água num movimento de massa?

Conclusões

Resultados

$Q_{água}$ = 50ml + ml+ ml= ml

Conceitos

Procedimento: Usando uma proveta com 100 ml de água, derramar lentamente a água no topo da montanha de areia molhada construída no procedimento anterior, até observar algum assentamento e, posteriormente, alguns movimentos de massa. Registar a quantidade de água que foi necessária derramar até à ocorrência dos movimentos de massa. Fazer um esboço da forma do movimento anterior (o movimento referido corresponde a uma estrutura de escorregamento – *landslide*, com formação de lóbulos no sopé – lóbulos *hummocky*). Adicionar água até que a montanha se desmorone. Registar a quantidade total de água utilizada nestes diferentes passos.

ANEXO II

Ala conceptual (saber) — Ala metodológica (fazer)

Princípios

QUESTÃO CENTRAL

Qual a relação entre o ângulo de atrito e a presença de água?

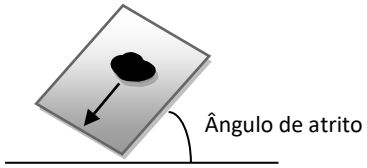
Conclusões

Resultados

Situação experimental	Teor em água	Ângulo de atrito		
		Medição 1	Medição 2	Média
Areia	Seco			
Brita granítica				
Bloco de rocha				
Areia	Húmido			
Brita granítica				
Bloco de rocha				
Areia	Saturado			
Brita granítica				
Bloco de rocha				

Conceitos

Procedimento: Colocar um tipo de material (areia, saibro ou bloco de rocha), numa placa de madeira. Levantar a placa apenas de um lado e registar o ângulo máximo a partir do qual os materiais começam a deslizar ao longo da placa. Repetir o procedimento anterior, humedecendo os materiais e, por fim, adicionando água até à sua saturação. Registar os resultados obtidos.



Apêndice V

Teste de conhecimentos de GA

AVALIAÇÃO FORMATIVA

Ano letivo 2012/2013

Nome: _____ Curso: _____ Turma: _____

Nº mecanográfico: _____ Data: ___ / __ / _____

GRUPO I

1. Leia atentamente o seguinte texto e observe a figura 1, na qual está representado um desenho esquemático de uma região vulcânica.

As erupções vulcânicas talvez sejam um dos fenómenos naturais mais complexos e com uma maior gama de variações, dado que um vulcão pode ter uma erupção com características muito diferentes das anteriores e inclusivamente apresentar variações drásticas durante a própria erupção. Cerca de 95% dos vulcões situa-se nas zonas de fronteira das placas litosféricas e apenas uma fração no seu interior (5%). Contudo, tem-se vindo a verificar um crescente povoamento das zonas vulcânicas ativas da Terra e, por consequência, um incremento da população afetada ou em risco.

Adaptado de Gómez, V. (1987). El Riesgo Vulcanico. In *Riesgos Geologicos* (pp. 83-98). Espanha: Instituto Geologico y Minero de Espana.

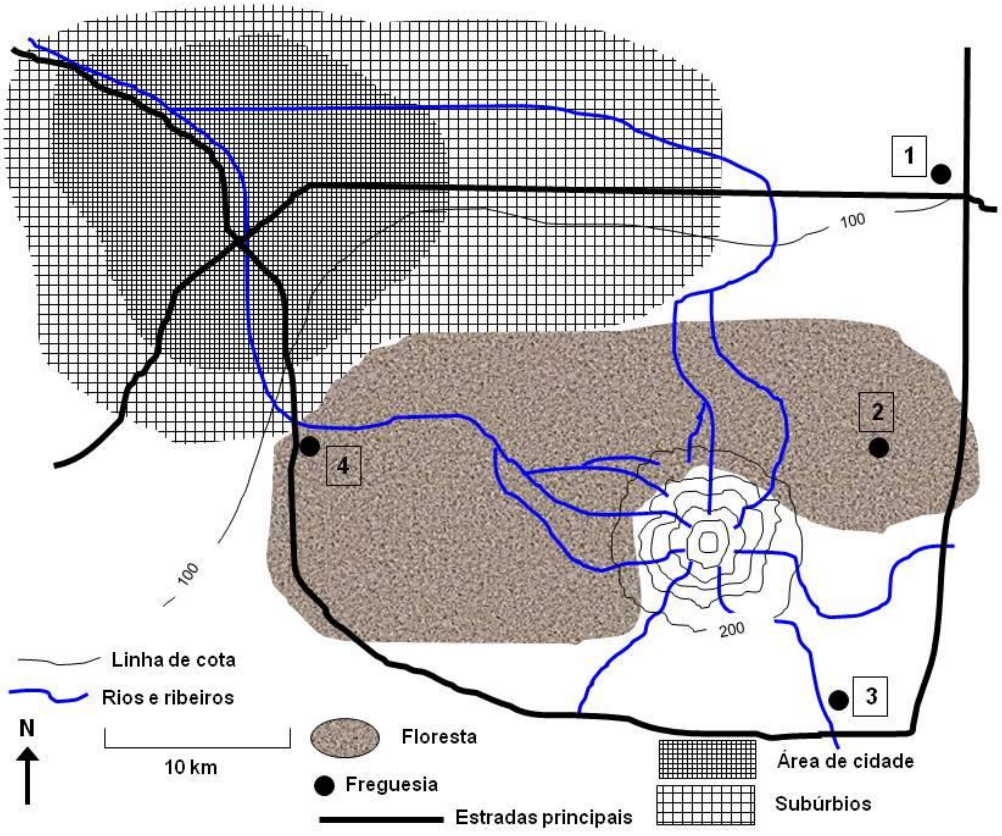


Figura 1 – Representação esquemática de uma região vulcânica.

Adaptado de http://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/assess/activities/srogi.html, consultado em Julho 2012

1.1. Em cada uma das seguintes questões, selecione a opção correta.

1.1.1. Em Portugal, apenas o arquipélago _____, onde se contam _____ vulcões ou sistemas vulcânicos e, em menor grau, _____, estão sujeitos a perigosidade vulcânica ativa.

a) da Madeira (…) 2 (…) o arquipélago dos Açores.
b) dos Açores (…) 26 (…) a ilha da Madeira.
c) dos Açores (…) 12 (…) a ilha da Madeira.
d) da Madeira (…) 5 (…) o arquipélago dos Açores

1.1.2. A freguesia representada pelo algarismo ____, na figura 1, encontra-se sujeita a um maior risco vulcânico, devido à possibilidade de ocorrência de ____.

a) 2 (…) rios de lava.
b) 3 (…) avalanches de lodo.
c) 1 (…) nuvens ardentes.
d) 4 (…) queda de piroclastos.

1.1.3. É possível elaborar uma carta de risco vulcânico da região representada na figura 1 a partir apenas do(a):

a) plano diretor municipal de ordenamento do território.
b) sobreposição entre uma carta de declives e uma carta de coerência litológica.
c) registo de paleossismos e de erupções vulcânicas anteriores.
d) enquadramento geotectónico da região.

1.1.4. Não é possível utilizar um mapa de risco geológico na seguinte situação:

a) Sismicidade.
b) Vulcanismo.
c) Movimento de vertentes.
d) Impacto meteorítico.

1.2. Sugira dois métodos que possam ser utilizados para a prevenção dos riscos vulcânicos, para além da elaboração de cartas de risco.

GRUPO II

O sismo de magnitude 7,6 que atingiu o oeste da Turquia a 17 de Agosto de 1999 (também conhecido pelo sismo de Izmit) ocorreu numa das falhas mais longas e estudadas a nível mundial: a falha este-oeste do norte da Anatólia. Os mapas da Turquia e da Califórnia, nos E.U.A., mostram que as falhas do norte da Anatólia e de Santo André são muito semelhantes (Figura 2). Esta semelhança tem levado a colaborações científicas ativas entre cientistas na Turquia e nos Estados Unidos

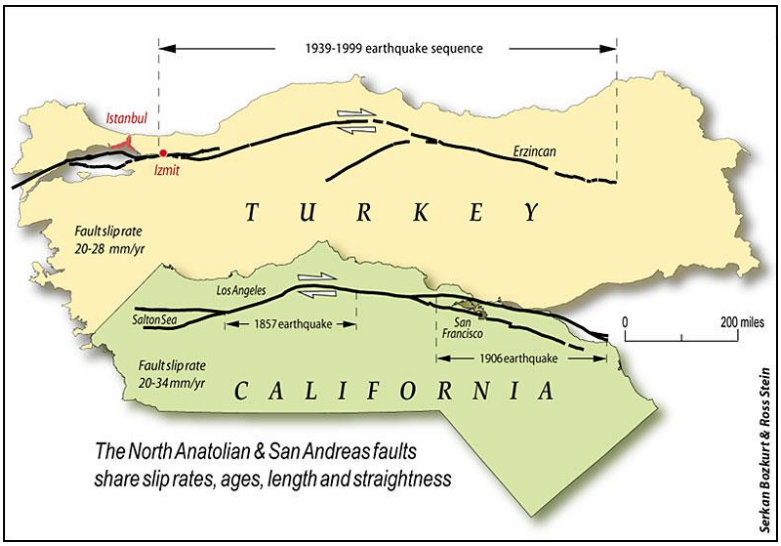


Figura 2 – Representação esquemática que ilustra a semelhança entre a falha do Norte da Anatólia e a falha de Santo André.

Extraído de http://earthquake.usgs.gov/research/geology/turkey/images/CA-Tu_comp.html, consultado em Julho 2012

A Turquia tem uma longa história de grandes terramotos que ocorrem frequentemente de um modo progressivo e contíguo. Com início em 1939, a falha do Norte da Anatólia produziu uma sequência de grandes sismos, dos quais o evento de 1999 é o 11º com uma magnitude igual ou superior a 6,7. As localizações dos sismos têm-se movido para este e para oeste, desde 1939 (figura 3).

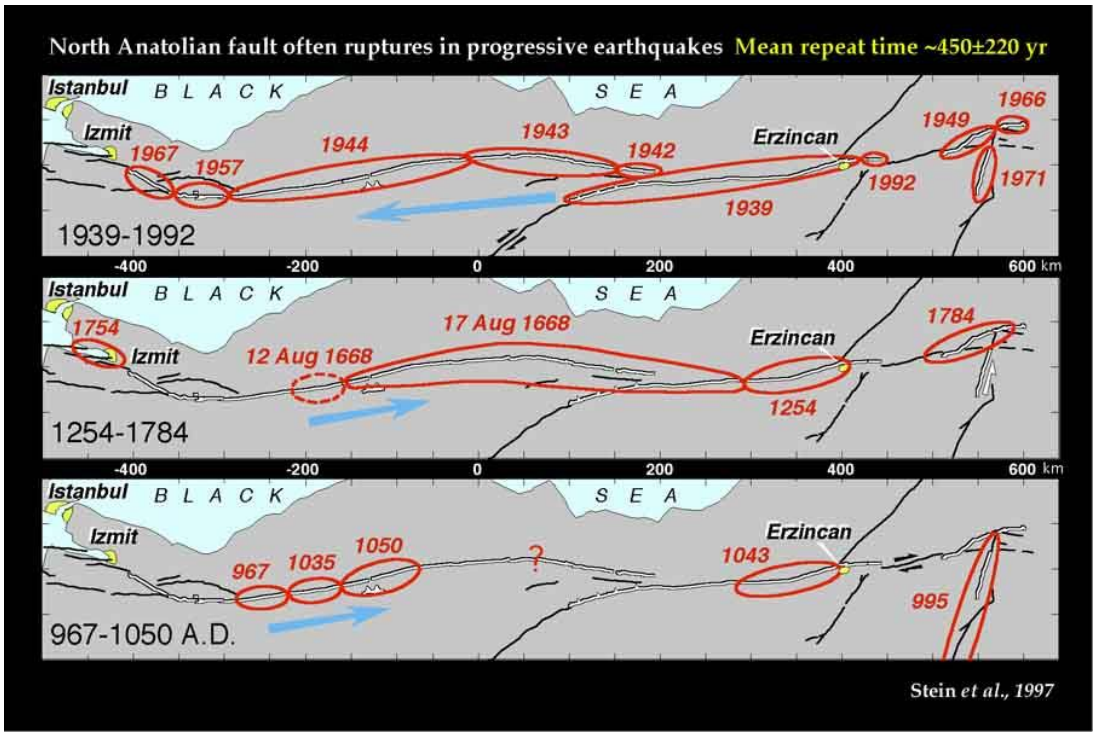


Figura 3 – Ruturas na falha do Norte da Anatólia em sismos progressivos.

Extraído de http://earthquake.usgs.gov/research/geology/turkey/images/historic.html, consultado em Julho 2012

Na tabela I são analisados alguns dos sismos com maior magnitude a nível mundial, de acordo com vários parâmetros.

Tabela I – Comparação entre a magnitude de diversos sismos e as suas consequências em termos de número de mortes e edifícios destruídos.

Extraído de http://www.delmarlearning.com/companions/content/1418065978/student_resources/DynamicEarth/ddde_unit3.pdf, consultado em Julho 2012

Country	Location	Year	Magni-tude	Deaths	Buildings destroyed
China	Tangshan	1976	7.6	>240,000	180,000
Japan	Kobe	1995	6.8	5502	100,000
United States	Northridge	1994	6.7	57	7000
Turkey	Izmit	1999	7.4	19,000	35,000
Iran	Bam	2003	6.6	26,000	85%
Taiwan	Chichi	1999	7.6	2400	10,000
Pakistan	N. Pakistan/ Kashmir	2005	7.6	>87,000	>32,000

1. Em cada uma das seguintes questões, selecione a opção correta.

1.1. A falha do norte da Anatólia e a falha de Santo André podem ambas ser classificadas como:

a) de desligamento esquerdo.
b) inversas.
c) normais.
d) de desligamento direito.

1.2. Por que razão é necessário obter dados de pelo menos três estações sismológicas para localizar o epicentro de um sismo?

a) para diminuir a margem de erro em termos de localização do epicentro, dado que uma das estações pode ter obtido dados incorretos.
b) a comparação dos dados de quatro sismogramas dá duas possíveis localizações, enquanto que de três sismogramas dá apenas uma localização.
c) a informação dos sismogramas pode ser relacionada com a distância ao epicentro, mas a direção exata tem de ser obtida por triangulação entre três ou mais sismogramas.
d) a diferença de chegada entre as ondas P e S é tanto maior quanto maior for a distância ao epicentro e é necessária a obtenção de três sismogramas para confirmar este facto.

1.3. Das seguintes alternativas, qual é a que não constitui um fenómeno precursor sísmico?

a) o comportamento anormal dos animais.
b) a existência de áreas com pouca sismicidade em falhas ativas.
c) anomalias eletromagnéticas.
d) o aumento de atividade sísmica ou de pequenos sismos numa determinada região.

1.4. Na Turquia e na Califórnia deve ser evitada a construção de edifícios em solos constituídos por sedimentos não consolidados, uma vez que:
   a) a vibração das partículas do solo é maior.
   b) as amplitudes das ondas sísmicas aumenta em sedimentos não consolidados.
   c) é mais provável ocorrer liquefação se os sedimentos estiverem saturados com água.
   d) todas as opções anteriores são corretas.

2. Tendo em consideração a Teoria das Lacunas Sísmicas:
2.1. Explique a ocorrência do sismo em Izmit, em 1999, na Turquia.

2.2. **Assinale na figura 3**, no terço correspondente ao período mais recente, o local mais provável para a ocorrência do próximo sismo ao longo da falha norte da Anatólia.

3. Em 1975, a cidade de Haicheng, na China, foi evacuada um dia antes da ocorrência de um sismo com magnitude 7,4 na escala de Richter, o que levou ao salvamento de milhares de vidas. No entanto, na quase totalidade dos casos, não é possível conseguir prever com exatidão a maior parte dos sismos.
3.1. Argumente sobre as vantagens e desvantagens deste tipo de previsão, tendo em conta a fiabilidade dos métodos existentes nesse âmbito.

4. Comente a seguinte afirmação de Agustin Udías: "Não nos devemos esquecer que são os edifícios que causam as vítimas e não os sismos *per se*".

GRUPO III

1. Observe a figura 5, que ilustra uma notícia sobre os movimentos de vertente ocorridos no estado do Rio de Janeiro, Brasil, em 2010. Nas questões seguintes, selecione a opção correta.

1.1. A principal causa que está na origem dos deslizamentos de vertentes é:

   a) a água. c) a gravidade.
   b) o vento. d) a temperatura.

1.2. Dos seguintes parâmetros, o menos importante no processo de deslizamento de vertentes é:
a) a cota altimétrica. c) a quantidade de água.
b) a geomorfologia. d) o declive.

1.3. Numa superfície inclinada, à medida que a inclinação da vertente aumenta...
   a) aumenta a componente tangencial da gravidade.
   b) aumenta a componente normal da gravidade.
   c) diminui a componente tangencial da gravidade.
   d) a componente normal mantém-se constante.


Deslizamentos na serra do RJ voltarão a ocorrer, diz geólogo

28 de fevereiro de 2011 • 07h29 • atualizado às 11h36

NOTÍCIA

Os deslizamentos que mataram mais de 900 pessoas criaram uma nova escala nos estudos geológicos

Foto: AFP

Figura 4 – Deslizamentos de vertente na serra do Rio de Janeiro.

Extraído de http://noticias.terra.com.br/brasil/noticias/0,,OI4963444-EI17544,00-Deslizamentos+na+serra+do+RJ+voltarao+a+ocorrer+diz+geologo.html, consultado em Julho 2012

1.4. O deslizamento de vertentes ocorre quando:

a) a força de resistência é superior à componente tangencial.
b) a razão entre a força de resistência e a componente tangencial é superior a um.
c) a razão entre a força de resistência e a componente tangencial é inferior a um.
d) a razão entre a componente tangencial e a força de resistência é superior a dez.

2. Explique duas consequências da ação antrópica que possam ter contribuído para a situação ilustrada na figura 4.

3. Na figura 5 estão representadas várias situações experimentais onde se pretende averiguar o efeito da água na instabilidade das vertentes.

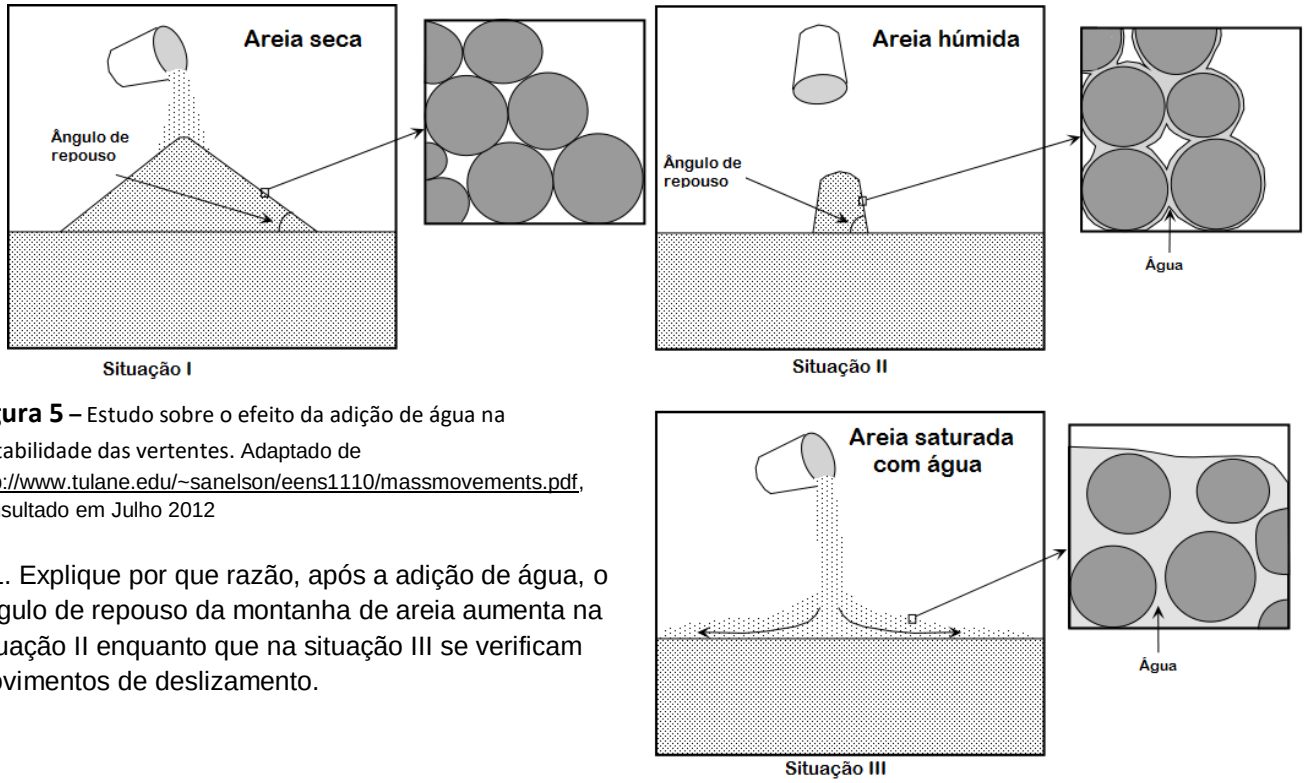


Figura 5 – Estudo sobre o efeito da adição de água na instabilidade das vertentes. Adaptado de http://www.tulane.edu/~sanelson/eens1110/massmovements.pdf, consultado em Julho 2012

3.1. Explique por que razão, após a adição de água, o ângulo de repouso da montanha de areia aumenta na situação II enquanto que na situação III se verificam movimentos de deslizamento.

4. No mapa da figura 6 está representada a suscetibilidade à ocorrência de instabilidade de vertentes no Norte e Centro de Portugal Continental.

4.1. Indique quais os dois principais fatores (geológicos e/ou geomorfológicos) que foram tidos em consideração para a elaboração do mapa representado na figura 6.

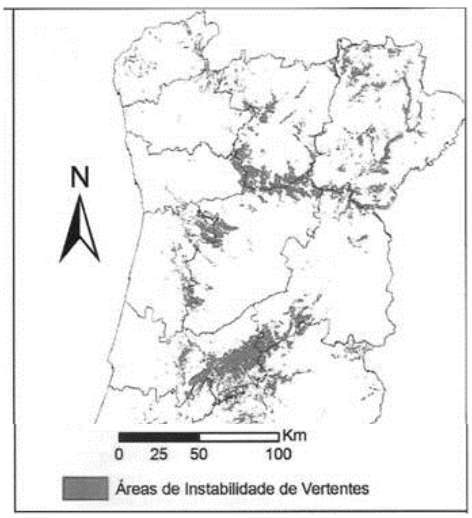


Figura 6 – Suscetibilidade à ocorrência de instabilidade de vertentes no Norte e Centro de Portugal.

Adaptado de Marques, F. (2010/2011). Instabilidade de vertentes: previsão, prevenção e tratamento. *Geonovas*, (23, 24) 34.

GRUPO IV

Uma das mais emblemáticas minas portuguesas encontra-se em São Domingos, no concelho de Mértola. Com vestígios de exploração romana, era considerada no século XIX, um dos importantes centros de extração de cobre e enxofre na Europa, tendo inclusivamente um caminho-de-ferro próprio, o primeiro em Portugal. As águas que circulam pela ribeira de São Domingos são escoadas para a albufeira do Chança, o principal reservatório de água da zona que, por sua vez, é afluente do rio Guadiana. Ao entrarem em contacto com a hidrosfera e a atmosfera, os minerais iniciam um processo de alteração e libertam metais que se difundem no ambiente, contaminando solos e lençóis freáticos. A sua ação pode sentir-se em locais distantes dos focos de poluição superficiais. Ao longo das linhas de água é possível encontrar terrenos afetados pela drenagem ácida da mina, sendo este o habitat preferencial da espécie *Erica andevalensis*, uma planta endémica da Faixa Piritosa Ibérica que, em Portugal, apenas está identificada na área mineira de São Domingos.

Locais como S. Domingos situam-se sobre a Faixa Piritosa Ibérica, uma importante região mineralífera que se estende para lá da fronteira, onde se exploram sulfuretos.

(Adaptado de *National Geographic*, Abril de 2010 e de http://pascal.iseg.utl.pt/~socius/rehmine/?Mina_de_S%E3o_Domingos, consultado em Agosto 2012)

Num estudo efetuado em duas áreas próximas da mina de São Domingos (Tapada e Telheiro) realizaram-se análises dos sedimentos, tendo sido detetados os seguintes elementos químicos:

	área	média	mediana	mínimo	máximo	coef. variação
Fe ($g\,kg^{-1}$)	Tapada	2,71	2,73	1,02	5,22	0,38
	Telheiro	5,68	4,90	1,56	15,10	0,53
Mn ($g\,kg^{-1}$)	Tapada	0,97	0,77	0,18	3,31	0,73
	Telheiro	0,45	0,43	0,02	1,14	0,82
S ($g\,kg^{-1}$)	Tapada	0,01	0,01	0,00	0,04	0,57
	Telheiro	0,62	0,37	0,02	2,81	1,18
As ($mg\,kg^{-1}$)	Tapada	21,51	18,80	7,40	77,60	0,63
	Telheiro	1727,09	277,00	28,00	15900,00	1,62
Cr ($mg\,kg^{-1}$)	Tapada	66,26	65,00	13,00	292,00	0,75
	Telheiro	75,49	75,00	49,00	100,00	0,17
Cu ($mg\,kg^{-1}$)	Tapada	27,29	25,31	8,94	78,44	0,56
	Telheiro	104,22	50,31	7,64	690,74	1,29
Hg ($mg\,kg^{-1}$)	Tapada	0,57	0,50	0,50	3,00	0,75
	Telheiro	29,32	0,50	0,50	420,00	2,77
Pb ($mg\,kg^{-1}$)	Tapada	64,50	51,70	22,02	256,69	0,67
	Telheiro	1000,65	156,11	47,16	7315,18	1,69

Tabela II - Estatística descritiva de elementos menores e vestigiais na Tapada e no Telheiro.

Extraído de Marques, F. (2009). Comportamento geoquímico de alguns elementos vestigiais na envolvente das Minas de S. Domingos, Alentejo: áreas da Tapada e do Telheiro. *Revista de Ciências Agrárias* (32)1, 182-194.

1. Provavelmente, a fonte de contaminação observada na mina de São Domigos provém (selecione a opção correta):
   a) do encerramento da exploração mineira.
   b) dos metais extraídos durante a laboração da mina.
   c) das escombreiras a céu aberto.
   d) da água das ribeiras próximas.

2. As afirmações que se seguem dizem respeito aos dados disponíveis relacionados com o impacte ambiental devido ao abandono da mina de São Domingos.
   Selecione a opção que as avalia corretamente.
   1 – A zona de Telheiro situa-se a jusante e a zona de Tapada situa-se a montante da mina.
   2 – O pH da zona de Telheiro é mais elevado do que o da zona de Tapada.
   3 – A concentração de Ferro detetada pode estar relacionada com a exploração de sulfuretos de ferro
   a) 1 e 2 são falsas; 3 é verdadeira.
   b) 1 e 3 são verdadeiras; 2 é falsa.
   c) 2 e 3 são verdadeiras; 1 é falsa.
   d) 1 e 2 são verdadeiras; 3 é falsa.

3. Refira qual o índice que deve ser determinado para se estabelecer um padrão para a dispersão dos elementos químicos na zona da mina.

4. Mencione duas medidas que visem a recuperação ambiental da mina abandonada de São Domingos.

GRUPO V

Nas férias de Verão o Manuel, alfacinha de gema, resolveu rumar até ao Norte do País. Queria conhecer a terra dos seus avós, naturais de S. Bartolomeu do Mar, local famoso pela tradição do Banho Santo em Agosto. Ali chegado, resolveu ir até a um café, situado sobre a praia e para decidir o melhor sítio para estender a sua nova toalha de praia. No entanto, logo ao entrar, um dos aspetos que lhe chamou imediatamente a atenção foram as inúmeras fendas que se multiplicavam varrendo de alto a baixo as paredes do café. A sua expressão facial deve ter mudado substancialmente, pois a dona do estabelecimento, com certeza habituada à reação de espanto dos seus clientes, resolveu abordá-lo dizendo: "Pois, isto está uma desgraça, é verdade… Quando as casas e este café foram construídos, ainda a praia era grande e existiam dunas aqui à frente – dizia, enquanto apontava pela janela… Mas o mar engoliu tudo e só restam esses malfadados seixos… O café, entretanto, foi sofrendo o efeito de tudo isto. Se calhar, qualquer dia, o mar também o leva…".

Manuel aproveitou a deixa e pensou em voz alta…

"- A erosão costeira está muito avançada por estes lados…"

"- É pois… e eu não entendo por que razão. O negócio vai muito mal, sabe? Mas não é só aqui. Esta desgraça repete-se até à zona da Apúlia, mais para sul…" – retorquiu a senhora com pesar. "Até tenho aqui expostas no café estas fotos aéreas da nossa praia que foram publicadas no Jornal de Notícias. Já viu bem a diferença? – inquiriu a dona do café para o Manuel. Este aproximou-se das imagens (figuras 7 e 8) e constatou as indubitáveis alterações.



Figura 7 – Aldeia de S. Bartolomeu do Mar, 1965. Extraído de http://www.jn.pt/multimedia/infografia.aspx?content_id=1621359, consultado em Julho de 2012.



Figura 8 – Aldeia de S. Bartolomeu do Mar, 2009. Extraído de http://www.jn.pt/multimedia/infografia.aspx?content_id=1621359, consultado em Julho de 2012.

"- Já houve até quem tentasse resolver isto por conta própria, com pedras e sacos de areia, mas não adiantou. A praia está cada vez mais pequena… isto está uma desgraça – repetiu a dona do café".

Manuel reclinou-se na cadeira e num tom grave disse:

" – Existem várias medidas que podem ser tomadas. Conte comigo para ajudar a solucionar este problema. Vamos mobilizar a população da freguesia e expor o caso à Câmara de Esposende".

1.1. Formule a questão-problema principal que se pretende solucionar.

1.2. Aponte os factos descritos no texto que são relevantes para a resolução da questão-problema.

1.3. Considera a seguinte questão “Por que razão aparecem fendas nas paredes do café?”. Esta é a questão intermédia que o Manuel colocou a si próprio quando tentava resolver o problema. Que resposta daria a esta questão, tendo em conta o que sabe sobre este tema?

1.4. Exponha outras quatro questões intermédias fulcrais que o Manuel colocaria e que teria que resolver para encontrar a resolução do problema.

1.5. Imagine que é o Manuel e mencione quatro das soluções que adiantaria para este caso, apresentando as respetivas evidências.

1.6. Na Praia da Rocha, no Algarve, foi realizada a realimentação artificial da praia, com sucesso. Explique por que razão o mesmo processo não teve um efeito semelhante na zona do Castelo do Queijo, no Porto.



Figura 9 – Praia da Rocha, Portimão.. Extraído de http://www.aprh.pt/rgci/pdf/revista7f2.pdf, consultado em Julho de 2012.

Apêndice VI

Proposta de correção do teste de conhecimentos de GA

U.PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

GEOLOGIA E AMBIENTE
Ano letivo 2012/2013

AVALIAÇÃO FORMATIVA
Proposta de Correção – Teste de conhecimentos

Questão	Correção	Cotação
	Grupo I	
1.1.1.	b) dos Açores (…) 26 (…) a ilha da Madeira.	0,3
1.1.2.	b) 3 (…) avalanches de lodo.	0,3
1.1.3.	b) sobreposição entre uma carta de declives e uma carta de coerência litológica.	0,3
1.1.4.	d) Impacto meteorítico.	0,3
1.2.	A reconstrução da atividade vulcânica passada; planificação de medidas a adotar no caso de uma crise; vigilância que permitam a previsão de uma erupção.	0,8
	Grupo II	
1.1.	d) de desligamento direito.	0,3
1.2.	c) a informação dos sismogramas pode ser relacionada com a distância ao epicentro, mas a direção exata tem de ser obtida por triangulação entre três ou mais sismogramas.	0,3
1.3.	a) o comportamento anormal dos animais.	0,3
1.4.	d) todas as opções anteriores são corretas.	0,3
2.1.	A teoria das Lacunas Sísmicas defende que um determinado segmento de uma falha que há muito não apresenta atividade acabará por entrar em rutura e dar origem a uma ocorrência sísmica mais intensa devido à acumulação de tensão.	0,8
2.2.	Zona de Istambul/Zona situada mais à direita da falha	0,4
3.1.	Vantagens: podem ser evitadas grandes catástrofes em termos materiais e humanos através de planos de evacuação previamente delineados. Desvantagens: na maior parte dos casos, não é possível prever com exatidão a ocorrência de um sismo, pelo que, uma previsão que não se realize pode induzir pânico desnecessário na população, levando eventualmente a estragos materiais e acidentes.	1,2
4.	Tal como se pode verificar na tabela I, não são os sismos que apresentam maior magnitude, os que causam diretamente maior número de vítimas ou de edifícios destruídos. Por exemplo, o sismo ocorrido em Taiwan (em 1999) de magnitude 7,6 teve como consequência a destruição de 10 000 edifícios e a morte de 2400 pessoas, enquanto que o sismo que se deu no Paquistão, com a mesma magnitude e 6 anos mais tarde, destruiu mais de 32 000 edifícios levando à morte de quase 90 000 pessoas. Assim, apesar da destruição causada por um sismo estar relacionada com diversos fatores, podemos concluir que a construção de edifícios antissísmicos reduz a mortalidade da população em caso de sismo.	1,2
	Grupo III	
1.1.	c) a gravidade.	0,3
1.2.	a) a cota altimétrica.	0,3
1.3.	a) aumenta a componente tangencial da gravidade.	0,3
1.4.	c) a razão entre a força de resistência e a componente tangencial é inferior a um.	0,3
2.	A destruição da cobertura vegetal, por exemplo, para a construção de casas, aumentou a erosão do solo; a remoção de não controlada de terremos para urbanização e abertura de estradas.	1,2
3.	Na situação II, a tensão superficial do filme de água mantém os grãos juntos, aumentando o ângulo de repouso. Na situação III, a água rodeia totalmente os grãos e como não há fricção, a mistura comporta-se como um líquido, verificando-se movimentos de deslizamento.	1,2
4.1.	Declive e litologia.	0,8

Grupo IV		
1.	c) das escombreiras a céu aberto.	0,3
2.	b) 1 e 3 são verdadeiras; 2 é falsa.	0,3
3.	Índice de Geoacumulação.	0,8
4.	Impermeabilização, drenagem e vedação das escombreiras; tratamento dos efluentes; selagem de poços e chaminés.	1,2
Grupo V		
1.1.	Por que razão a praia de São Bartolomeu tem vindo a diminuir de área?	0,8
1.2.	O café na praia apresenta fendas nas suas paredes; aquando da construção das casas e do café a praia era grande e existiam dunas; a linha de costa tem vindo a diminuir; observa-se a presença de seixos na praia; a erosão costeira está avançada e estende-se mais para sul, até à praia da Apúlia.	1
1.3.	As fendas aparecem nas paredes devido à falta de sustentabilidade das fundações do edifício do café, dado que há remoção do substrato (areias) que lhes serve de suporte.	0,8
1.4.	Será que a construção das casas e do café teve influência na erosão costeira verificada no local? Os fatores relacionados com a erosão costeira em São Bartolomeu serão idênticos aos observados na Apúlia? Por que razão as obras de proteção da praia (com pedras e sacos de areia) não solucionaram o problema da erosão? Será que a diminuição da quantidade de areia das praias é um fenómeno natural ou tem apenas origem antrópica?	1,2
1.5.	Proibição do pisoteio de dunas uma vez que esta ação destrói o coberto vegetal e deixa as areias soltas que ficam mais sujeitas à erosão; proibição da existência de parques de estacionamento e da construção de edifícios junto à praia pois as dunas constituem uma importante barreira para o avanço do mar; construção de esporões que permitam a retenção de areias; realimentação artificial da praia para aumentar a quantidade de areia e diminuir o impacte da presença dos seixos.	1,6
1.6.	Devido à dinâmica da zona litoral oeste portuguesa, pois a forte intensidade das correntes retiram grande quantidade de sedimentos na zona do Castelo do Queijo comparativamente com a Praia da Rocha, em Portimão.	0,8

Apêndice VII

Protocolo de recolha de dados - Medida de Reflexão Epistemológica (MER)

Código: _____

U.PORTO

FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Projeto de Investigação sobre

Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas no Ensino Superior

Um Estudo no âmbito da Geologia e Ambiente

INVESTIGADORA: TÂNIA FILIPA PINTO

ORIENTADORES: DOUTORA CLARA VASCONCELOS E DOUTOR ANTÓNIO GUERNER DIAS

Este estudo tem como objetivo analisar o impacto da metodologia de ensino designada por "Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas" em estudantes do Ensino Superior na área da Geologia e Ambiente.

Relativamente à participação neste estudo, fui informado(a) que me será pedido que responda a várias questões relativas à minha perspetiva sobre a educação/aprendizagem no ensino superior, nomeadamente no que diz respeito ao papel do estudante, dos professores e dos colegas, bem como à natureza do conhecimento e questões de avaliação. Para que seja possível caracterizar a amostra populacional deste estudo, facultarei apenas para efeitos de investigação alguns dados relativos à minha condição sócio-económico-cultural.

Sei que o objetivo deste estudo, em que fui convidado(a) a participar, foi delineado no âmbito do Programa Doutoral em Ensino e Divulgação das Ciências da Universidade do Porto. Compreendi que a minha participação é **voluntária** e que os dados que eu fornecer serão mantidos **confidenciais**, sendo utilizados apenas para fins desta investigação. Assim, dou o meu consentimento informado de livre vontade para participar neste trabalho, sabendo que poderei desistir da investigação a qualquer momento.

Data: ___/___/___

Nome: _____

Idade: _____ **Género:** F☐ M☐ **Frequenta o curso de**: _____

Ano do curso em que está inscrito: _____

Questionário sócio-demográfico

Código: _____

A entrada no Ensino Superior implicou a sua saída de casa? Sim ☐ Não ☐

Por favor assinale a condição dos seus pais perante o trabalho:	**Pai**	**Mãe**
Exerce uma profissão	☐	☐
Desempregado(a)	☐	☐
Reformado(a)/Pensionista	☐	☐
Outra (especifique)	_____	_____

Indique a profissão atual dos seus pais (ou a última, caso estejam reformados ou desempregados)

	Pai	**Mãe**
Quadros superiores da administração pública, dirigentes e quadros superiores de empresa (exº gestores de grandes e pequenas empresas, membros de corpos legislativos, etc.)	☐	☐
Especialista das profissões intelectuais e científicas (exº engenheiro, advogado, médico, professor do 3º ciclo ensino básico/secundário/universitário, arquiteto, enfermeiro, etc.)	☐	☐
Técnicos e profissionais do nível intermédio (exº contabilista, técnico médio, inspetor da polícia, educador de infância, professor 1º ciclo, docente de educação especial, etc.)	☐	☐
Pessoal administrativo e similares (secretário, telefonista, empregado de balcão, empregado de escritório, etc.)	☐	☐
Pessoal dos serviços e vendedores (exº cozinheiros, empregados de mesa, ama, cabeleireiro, agente funerário, polícia, etc.)	☐	☐
Agricultores e trabalhadores qualificados da agricultura e pescas	☐	☐
Operários, artífices e trabalhadores similares (exº mecânico, eletricista, costureiro, operário industrial ou da construção civil, mineiros, etc.)	☐	☐
Operadores de instalações e máquinas e trabalhadores da montagem (exº maquinistas de locomotivas, condutores de veículos a motor, operadores de instalações de transformação de metais, etc.)	☐	☐
Trabalhadores não qualificados (exº vendedores ambulantes, engraxadores, porteiros, pessoal de limpeza, lavadores de vidros e de veículos, etc.)	☐	☐
Nunca exerceu uma profissão	☐	☐

Habilitações literárias:	**Pai**	**Mãe**
	_____	_____

Em termos profissionais, o que espera vir a fazer no futuro?

Código: _____

MEDIDA DE REFLEXÃO EPISTEMOLÓGICA – MER

(Baxter Magolda, 1992, traduzido e adaptado por Alice Bastos e Carla Faria, 2003, versão para estudo da Measure of Epistemological Reflection - MER)

INSTRUÇÕES:

O questionário que se segue está relacionado com a sua perspetiva sobre a educação/aprendizagem no ensino superior. Para cada questão, nas páginas seguintes, é-lhe solicitada a sua OPINIÃO ou opção sobre um dado tema e as RAZÕES subjacentes a essa opinião ou opção. Estamos interessadas em compreender o modo como perspetiva a sua aprendizagem. Para melhor compreendermos as suas razões, pedimos-lhe que descreva detalhes de situações relevantes para concretizar aquilo que sente em relação a cada uma das questões levantadas. Se precisar de mais espaço para escrever, pode continuar no verso da folha. Muito obrigada.

Leia atentamente as questões que se seguem.

Procure pensar nas **aulas** (teóricas, práticas ou teórico-práticas) que teve.

1. Independentemente do tipo de aulas (teóricas, práticas, etc.), considera que aprende melhor em aulas onde é posto em destaque o conhecimento factual ou em aulas organizadas em torno de ideias e conceitos? (Dê alguns exemplos relativos a disciplinas que tenha frequentado e que sejam ilustrativos desse "aprender melhor"). _____
_____
_____
_____

2. O que o(a) leva a pensar que aprende melhor nesse tipo de aulas?
_____
_____
_____

3. Quando pensa nesse tipo de aulas, que vantagens encontra?
_____
_____
_____

4. E quais são as desvantagens desse tipo de aulas?
_____
_____
_____

5. Se pudesse aconselhar alguém sobre a melhor forma de ter sucesso no ensino superior, que conselho(s) daria? Refira, concretamente, aquilo que considera ser a chave para o sucesso no ensino superior.
_____
_____
_____

Tome agora em consideração os **professores**.

6. Ao longo da sua formação, é provável que os professores tenham usado diferentes métodos de ensinar. Pensando nesses professores, descreva o método de ensino que lhe parece mais adequado para si.

7. Pensando no método anteriormente referido, que vantagens encontra?

8. E quais as desvantagens? Refira alguns aspetos que considere relevantes e explique a razão da sua inadequação e/ou insuficiência.

9. Se tiver em conta o modo como esse(s) professor(es) ensinava(m), quais foram as coisas mais importantes que aprendeu com eles?

10. Que tipo de relação professor/estudante facilitaria a sua aprendizagem? Explique a sua resposta.

Tome agora em consideração o modo como os seus **colegas** se posicionam na sala de aula.

11. Prefere aulas em que os estudantes participam muito ou aulas em que os estudantes participam pouco? _____

12. Porque prefere aquele grau de envolvimento/participação? Que razões encontra para a sua opção?

13. Que vantagens identifica nesse modo dos estudantes estarem numa sala de aula?

14. E quais são as desvantagens?

15. No sentido de facilitar a sua própria aprendizagem, que tipo de interação entre professores e estudantes e entre estudantes gostaria de ver numa sala de aula? Apresente as razões da sua opção.

Tome agora em consideração a **avaliação** da aprendizagem.

16. Algumas pessoas pensam que com muito trabalho e esforço conseguem resultados/classificações elevadas, isto é boas notas. Outras pessoas consideram que não. Qual destas afirmações se aproxima mais da sua opinião? Porquê? _____

17. Do seu ponto de vista, qual deveria ser o papel da avaliação no ensino superior? Ou seja, como se deveria efetuar a avaliação? _____

18. Independentemente da modalidade de avaliação (contínua, periódica, final) quem deveria estar envolvido na avaliação? _____

19. Que razões encontra para considerar que a forma de avaliação referida na questão 17, é a melhor forma de avaliar o desempenho (realização académica) do estudante do ensino superior?

Procure agora ter em conta a **natureza** do conhecimento.

20. Por vezes, diferentes professores dão explicações distintas para determinados acontecimentos, que podem ser por exemplo acontecimentos históricos ou fenómenos científicos. Quando dois professores explicam a mesma coisa de uma forma diferente, será que um está certo e outro errado?

21. Quando são apresentadas duas explicações distintas relativamente ao mesmo acontecimento/ fenómeno, como pode um estudante saber em que versão acreditar? Apresente um exemplo concreto com que se tenha deparado ao longo da sua formação académica, referindo alguns detalhes.

22. Considerando a questão anterior, parece-lhe possível ter a certeza sobre qual a melhor explicação? Em caso afirmativo, explique as razões da sua certeza.

23. Em caso negativo, ou seja, se não é possível ter a certeza, diga porquê.