

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO GERAL

### **1.1 A água no ambiente mineiro**

Os problemas relacionados com o impacto ambiental, gerados pela indústria extractiva mineira, têm vindo a preocupar, de forma crescente, a maioria das instituições governamentais e privadas de muitos países.

A ligação da água à actividade mineira é visível em diferentes processos e etapas da mesma e os seus impactos podem estar associados:

- à actividade extractiva;
- ao processo de processamento mineral (lavaria) e condução dos resíduos mineiros (escombreiras);
- ao processo de bombagem para rebaixamento do nível freático.
- à etapa de abandono, com inundação da mina e aparecimento de descargas não controladas de águas contaminadas.

Como resultado destas acções, ocorrem os designados impactos: hidrológico e hidrogeológico (nas águas superficiais e subterrâneas), geoquímico (sedimentos, solos e aluviões/eluviões) e bioquímico (nos seres vivos).

#### **1.1.1 Antes da exploração – um sistema hidrogeológico em equilíbrio**

Um sistema hidrogeológico é caracterizado, ao mesmo tempo, pela sua hidrodinâmica, que define os escoamentos (caudal, tipo...) e pela correspondente geoquímica, isto é, a composição química da sua água. Neste sistema, os aquíferos são alimentados pela infiltração de águas de superfície até serem descarregados em várias exurgências (fontes, rios,...). Durante o escoamento subsuperficial, a água interage

quimicamente com o meio rochoso. Isto traduz-se numa evolução da sua composição química, que depende da natureza litológica e do tempo de interacção água/rocha. A água superficial é, geralmente, oxidante e tem fracas concentrações em iões e um pH variável. Evoluindo em meio anaeróbico, a água profunda é, em geral, redutora e encontra-se em equilíbrio com fases minerais secundárias. Antes de qualquer actividade mineira, o sistema hidrogeológico encontra-se num estado de equilíbrio global, seja do ponto de vista hidrodinâmico, seja geoquímico.

### **1.1.2 Durante a exploração – rebaixamento dos níveis freáticos e condições oxidantes**

Quando o nível mineralizado se encontra em profundidade é indispensável proceder à abertura de poços e de galerias até se atingir o nível da exploração. Para tal, há que proceder ao rebaixamento do nível piezométrico. A bombagem de água implica a redução da superfície piezométrica e provoca uma diminuição da alimentação de água às nascentes e aos furos na área circunscrita. A água bombeada pode ser utilizada, de acordo com os casos, para abastecimento após tratamento adequado, para a utilização industrial, ou pode vir a ser lançada em cursos de água, alterando de maneira artificial o seu débito. A abertura de galerias pode originar novas fracturas no terreno criando novas conexões hidráulicas. Todas estas acções realizadas durante a fase de exploração têm como consequências a geração de:

1. alterações do nível hidrodinâmico que são acompanhadas de mudanças do ponto de vista geoquímico. Com a abertura de galerias, o oxigénio vai entrar em contacto com rochas anteriormente não expostas à atmosfera, criando condições oxidantes onde normalmente existiria um meio redutor e levando à formação de novos minerais;
2. ocorrências de descargas de carácter ácido e/ou poluente e a possível contaminação dos solos devido a processos de lixiviação. Na origem destas descargas, estão os desperdícios sólidos acumulados durante a actividade da mina, em quantidades que podem atingir vários milhões de toneladas e, que, em geral, são depositados em escombrelas a céu aberto;
3. impactos associados ao ruído e à poluição atmosférica.

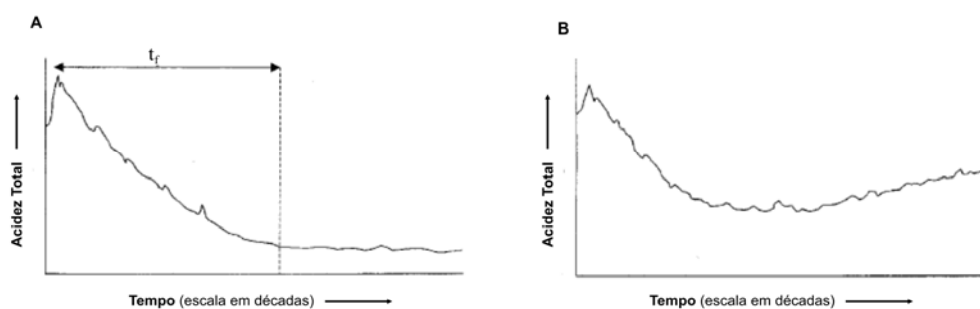
### **1.1.3 Após exploração – na direcção de um novo equilíbrio**

Os processos de encerramento de uma mina conduzem à minimização de alguns impactos e ao aparecimento de novos. A paragem das bombas leva, por exemplo, à

inundação da mina modificando, novamente, o sistema hidrodinâmico. Certos circuitos hidráulicos antigos e nascentes naturais podem reaparecer, mas, também, devido aos vazios criados pela exploração, podem gerar-se novos fluxos hidráulicos e o aparecimento de novas exsurgências. O regime hidrológico geral volta a ser alterado e tende a evoluir para um novo estado de equilíbrio diferente do que existia antes da exploração.

Do ponto de vista geoquímico, o processo de inundação leva a uma marcada deterioração da qualidade da água da mina (Younger e Wolkersdorfer, 2004; Younger, 2000a e 2000b), uma vez que fomenta a dissolução dos minerais neoformados aquando da exploração, frequentemente, ricos em metais.

Passada a fase de inundação da mina, a qualidade da água tende, de um modo geral, a melhorar. O tempo que esta etapa demora (anos ou décadas) vai depender das condições hidrodinâmicas locais, mas, principalmente, da paragénese mineral (Figura 1.1).



**Figura 1.1** Diagrama esquemático da evolução temporal da qualidade química da água da mina após o encerramento. (A) Comportamento típico quando há presença abundante de minerais neutralizantes da acidez (especialmente calcite e dolomite); (B) Comportamento típico quando a quantidade de pirite excede a quantidade de minerais neutralizantes da acidez (adaptado de Younger, 2000a)

## 1.2 Enquadramento Legal

A transposição para a ordem jurídica nacional da Directiva-Quadro da Água (DQA) (Directiva n.º. 2000/60/CE do Parlamento Europeu de 23 de Outubro) que constitui a legislação de base para a protecção das águas superficiais e subterrâneas na Europa, estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável, deu origem à chamada Lei da Água (Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro). De acordo com os objectivos definidos nesta Lei, o Estado é obrigado a definir objectivos ambientais para as águas superficiais e subterrâneas e para as zonas protegidas. Aqueles objectivos serão alcançados através da aplicação de programas de medidas específicas nos Planos de Gestão de Bacias

Hidrográficas (artigo 45º da Lei n.º 58/2005). Em 2015, o mais tardar, os programas de medidas devem permitir alcançar o bom estado químico e ecológico de todas as massas de água superficiais e subterrâneas. Por opção do legislador, um conjunto de normas comunitárias de natureza essencialmente técnica e de carácter transitório, inseridas na Directiva n.º 2000/60/CE, foram transpostas para o ordenamento nacional mediante um decreto-lei complementar (Decreto-Lei n.º 77/2006 de 30 de Março).

Embora a DQA estabeleça um quadro geral para a protecção das águas subterrâneas, o artigo 17º da Directiva prevê a adopção de medidas específicas para impedir e controlar a poluição das águas subterrâneas através da definição de critérios comuns para a avaliação do bom estado químico e para a identificação das tendências a esse nível. O artigo 17º da DQA exige que, com base numa proposta da Comissão, o Parlamento Europeu e o Conselho adoptem medidas específicas, de prevenção e de controlo da poluição das águas subterrâneas, incluindo os critérios:

- para a avaliação do seu bom estado químico;
- para a identificação de tendências significativas e persistentes para o aumento das concentrações de poluentes;
- para a definição de pontos de partida para a inversão dessas tendências tendo em conta a probabilidade de efeitos adversos nos ecossistemas aquáticos associados ou nos ecossistemas terrestres dependentes.

A Directiva do Parlamento Europeu relativa à protecção das águas subterrâneas contra a poluição é hoje conhecida como a Directiva Filha e foi publicada a 27 de Dezembro de 2006 no Jornal Oficial da União Europeia (JO 372), com a designação de Directiva 2006/118/CE. Os objectivos desta directiva visam estabelecer medidas específicas para impedir e controlar a poluição e deterioração das águas subterrâneas, através do “estabelecimento de critérios para a avaliação do bom estado químico das águas subterrâneas e de critérios para a identificação e a inversão de tendências significativas e persistentes para o aumento das concentrações de poluentes e para a definição dos pontos de partida para a inversão dessas tendências” (Directiva 2006/118/CE). A presente directiva, também tem como objectivo, completar as disposições destinadas a prevenir ou limitar a introdução de poluentes nas águas subterrâneas já previstas na Directiva 2000/60/CE.

A nível nacional existem outras leis que visam contribuir para o planeamento racional dos recursos hídricos. A base legal é o Decreto-Lei n.º 45/94 que regula o processo de

planeamento de recursos hídricos e a elaboração e aprovação dos planos de recursos hídricos. A partir deste documento legal foram elaborados:

- o Plano Nacional da Água (PNA), onde estão definidas as orientações de âmbito nacional para a gestão integradas das águas, fundamentadas em diagnósticos da situação actual e na definição de objectivos a alcançar através de medidas e acções (Decreto-Lei n.º 112/2002, de 17 de Abril);
- os Planos de Bacias Hidrográficas, definidos em vários Decretos Regulamentares, onde se encontram definidas as orientações de valorização, protecção e gestão equilibrada da água, de âmbito territorial, para cada uma das bacias hidrográficas ou agregação de pequenas bacias hidrográficas.

Ambos constituem elementos enquadradores, estratégicos e programáticos do desenvolvimento do processo de planeamento de recursos hídricos e têm ainda como grandes objectivos contribuir, como factor potenciador, para a reestruturação do sistema normativo e institucional de recursos hídricos e, como factor instrumental, para a consecução de uma política coerente, eficaz e consequente de recursos hídricos. Sem estes instrumentos de gestão das bacias hidrográficas não seria possível um conhecimento adequado das áreas que constituem um potencial perigo para a saúde pública.

As explorações mineiras representam um dos focos de poluição mais sérios com descargas directas e indirectas de poluentes para as águas subterrâneas. Num levantamento do passivo mineiro nacional efectuado por Santos Oliveira *et al.* (2002), elaborou-se um diagnóstico ambiental das principais áreas mineiras degradadas. De 85 minas estudadas, foi atribuído a 14% das mesmas um grau de perigosidade elevado. Os mesmos autores concluem que ainda há muito a fazer nesta fase de diagnóstico preliminar.

Através do Decreto-Lei n.º 198-A/2001 de 6 de Julho, a Empresa de Desenvolvimento Mineiro SA (EDM) tornou-se a sociedade concessionária responsável pela recuperação ambiental das áreas mineiras degradadas, designadamente, da sua caracterização, das obras de reabilitação e da monitorização ambiental, nos dez anos seguintes. Contudo, sendo um problema que afecta a sociedade em geral, vários trabalhos de investigação têm sido realizados por universidades, institutos e outras organizações. A comunidade científica tem-se debruçado sobre o problema de modo a reduzi-lo o mais brevemente possível, já que Portugal até 2015 tem de encontrar medidas minimizadoras

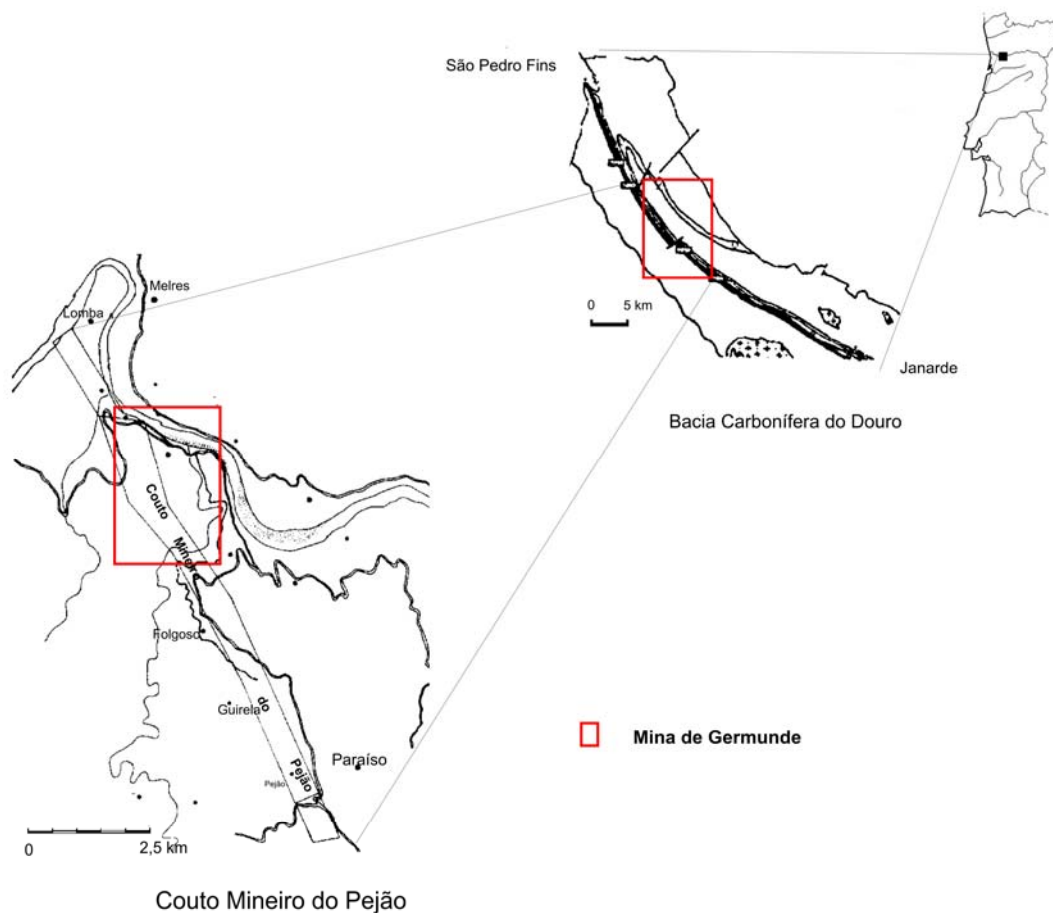
e/ou remediadoras para este passivo ambiental de modo a respeitar os objectivos definidos na Lei da Água.

### **1.3 *As minas de carvão em Portugal***

O carvão em Portugal ocorre em três bacias: Bacia Carbonífera do Douro, Bacia do Buçaco e a Bacia de Santa Susana. São jazidas de fácies continental mas sempre de pequenas dimensões. De todas, apenas a Bacia Carbonífera do Douro (ou Faixa Carbonífera Dúrico-Beirã) teve um comprovado interesse económico.

A Bacia Carbonífera do Douro (BCD) é uma estreita faixa de terrenos, com orientação média  $N130^{\circ} \pm 10^{\circ}E$  e inclinações para NE com pendor variando entre  $40^{\circ}$  e  $90^{\circ}$ , que se situa entre S. Pedro Fins (concelho da Maia) até próximo de Janarde (concelho de S. Pedro do Sul), onde é interrompida pelos granitóides do maciço de Castro Daire (Figura 1.2). Esta bacia encontra-se localizada na Zona Centro-Ibérica e apresenta características de sedimentação intramontanhosa (Sousa e Wagner, 1983) raramente ultrapassando os 500 m de largura.

Na parte noroeste da BCD, entre S. Pedro Fins e Paraíso (concelho de Castelo de Paiva), distribuem-se as duas principais áreas mineiras – o Couto Mineiro de S. Pedro da Cova e o Couto Mineiro do Pejão (onde se encontra inserida a mina de Germunde) (Figura 1.2). As minas de carvão pertencentes aos referidos coutos constituíram a maior e a mais intensa exploração de carvão em Portugal, tendo perdurado por cerca de um século. Ambos se encontram, actualmente, encerrados.



**Figura 1.2** Localização da Mina de Germunde dentro do Couto Mineiro do Pejão e da Bacia Carbonífera do Douro

A história do Couto Mineiro do Pejão começa em 1859, quando o Concelho d´Obras Públicas e Minas decidiu examinar e reconhecer a existência de uma mina de carvão situada no Monte das Cavadinhas, no Pejão, freguesia de S. Pedro do Paraíso, concelho de Castelo de Paiva. O reconhecimento surgiu na sequência da correspondência enviada pelos Srs. Francisco Saraiva Couraça e Augusto d´Azevedo de Pinho Leite a S. Majestade onde requeriam o reconhecimento da dita mina de carvão. Contudo, os estudos efectuados, principalmente, por Sharpe em 1849 e Carlos Ribeiro, em 1863, evidenciaram que a exploração da mina do Pejão não era a mais favorável.

As concessões mais antigas que se conhecem são de 1884, data a partir da qual se iniciaram os primeiros trabalhos de prospecção, pesquisa e exploração realizados por uma empresa de origem Inglesa. A exploração era subterrânea e o nome dado à mina foi “Mina de Cinquenta”.

Entre 1908 e 1917, as concessões relativas ao Couto Mineiro do Pejão eram exploradas pela Companhia Portuguesa de Carvão e pela “Anglo-Portuguese Colliers, Lda.”.

Em 1917, foi fundada a “Empresa Carbonífera do Douro, Lda.” (ECD) com um capital de 200 contos (ECD, 1985).

A Primeira Grande Guerra Mundial (1914-18) deu o primeiro impulso na exploração destas minas. O afloramento e a possança conferiram à mina do Pejão notoriedade, embora a sua importância fosse diminuída pela friabilidade do carvão.

Foram, entretanto, localizados outros afloramentos de carvão que deram origem a diversas minas concessionadas, tais como: Folgoso, S. Domingos, Arda, Serrinha, Paraduça e Germunde que, conjuntamente com o Pejão, formavam o referido Couto Mineiro do Pejão, estendendo-se desde o lugar de Germunde até ao Alto do Pejão, numa extensão de aproximadamente 10 Km.

Em 1933, após falência, a ECD foi adquirida por um grupo Belga, liderado por Jean Tyssen. Durante o período respeitante à sua administração, a empresa sofreu uma enorme evolução, quer a nível de produção, quer a nível de desenvolvimento de infra-estruturas, quer a nível social.

Com a segunda Guerra Mundial (1939-1945) e nos primeiros anos do pós-Guerra, a empresa atravessou um período de grande desenvolvimento, com duas minas em exploração (ECD, 1985).

Em Maio de 1963, a ECD foi transformada em Sociedade Anónima de Responsabilidade Limitada sob a denominação de “Empresa Carbonífera do Douro, S.A.R.L.” (ECD, 1985).

Em 1977, foi adquirida pelo Estado Português continuando, no entanto, a reger-se pelo estatuto de sociedade anónima adquirido em 1963.

Em 1984, devido ao convénio celebrado entre o “Instituto de Participações do Estado, E.P.” e a “Ferrominas”, a ECD passa a pertencer a esta última.

As Minas do Pejão foram encerradas, oficialmente, no dia 31 de Dezembro de 1994 (ver Jornal de Notícias, 30/12/94, p.6; O Primeiro de Janeiro, 30.12.94, p.1; O Público, 10/01/95, p.22), terminando assim mais de um século de exploração mineira no Couto Mineiro do Pejão (CMP).

Em 1998, cerca de 99% do capital da ECD foi adquirido pela “Empresa de Desenvolvimento Mineiro” (EDM). No entanto, àquela data, estava a ser efectuado o desmantelamento final dos bens da empresa, liderado pela EDM.

Neste momento (2008), os antigos bens da empresa encontram-se dispersos por diversos proprietários. Eis alguns exemplos:

- A escombreira da Serrinha foi vendida à Junta de Freguesia de Pedorido;
- As antigas instalações foram vendidas a uma empresa privada, que está actualmente a efectuar a sua remodelação para aproveitamento turístico;
- O Poço de Germunde II foi doado aos bombeiros Voluntários de Castelo de Paiva.

Embora tenham sido tomadas medidas minimizadoras de impacto de poluição (ECD, 1995; Dinis da Gama e Arrais, 1996, entre outros), fontes difusas de contaminação são visíveis ao longo do couro mineiro (Santos, 1998; Canto Machado, 1999; Santos Oliveira e Ávila, 1999; Pedrosa, 2000; Pedrosa *et al.*, 2000).

O carvão extraído da mina do Pejão era a partir de finais da década de 50, essencialmente, utilizado na produção de energia eléctrica (ECD, 1988). A produção era directamente canalizada para a Central da Tapada do Outeiro que começou a sua laboração em 1959. A central foi projectada para consumir as antracites de alto teor de cinzas da BCD queimando-as com o apoio de fuelóleo (ECD, 1988).

Na década de oitenta, várias análises de articulação técnico-económica foram sendo realizadas com o intuito de diversificar quer produtos quer serviços fornecidos pela ECD, com o objectivo primordial de prolongar a actividade extractiva da Empresa. A aplicação de qualquer uma das alternativas presentes nestes relatórios ficou dependente do esclarecimento, por parte das autoridades portuguesas, da continuidade da empresa e da política energética do País.

A Mina de Germunde foi a maior mina subterrânea a ser explorada em todo o Couro Mineiro do Pejão. Tem uma extensão de aproximadamente 2 km e foi explorada até uma cota de, aproximadamente, -450m, abaixo do nível do Rio Douro. No total, crêem-se que foram extraídas  $24 \times 10^6$  ton de carvão (Pinto de Jesus, 2001). Este carvão era pobre pelo que foi utilizado para queima na central eléctrica, como já foi referido.

A principal escombreira associada à mina é a Escombreira da Serrinha. Foi constituída desde o final dos anos 40 através da deposição, num pequeno vale da região de estéreis da mina e rejeitados do processo de beneficiação do carvão. Os materiais depositados foram xistos carbonosos, frequentemente, piritosos de granulometria grosseira provenientes da mina e uma fracção menor (10%) mais homogénea proveniente da lavaria. É um depósito de materiais isentos de aditivos nocivos uma vez que o processo produtivo

não implicava a sua incorporação. Ocupa uma área de, aproximadamente, 4 hectares e um volume global de matéria de cerca de 1,2 milhões de m<sup>3</sup> (Dinis da Gama e Arrais, 1996).

#### **1.4 Objectivos e estrutura da tese**

Nesta dissertação, estuda-se o impacto da área mineira de Germunde nas águas subterrâneas, do ponto de vista hidroquímico e da avaliação do risco de contaminação, evidenciando as variações espaço-temporais e interligando-as com factores como a proximidade à estrutura mineira e geológica. Assim, os objectivos principais deste trabalho são:

- investigar e avaliar, nas áreas envolventes da mina de Germunde, o potencial impacto ambiental nas águas superficiais e subterrâneas;
- estudar os mecanismos de mobilização, transporte, dispersão e acumulação de metais na água para uma melhor compreensão dos fenómenos químicos nas áreas mineiras;
- contribuir para o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem a caracterização e compreensão dos processos de contaminação mineira e ajudem a estabelecer, a nível de gestão, as práticas específicas que deverão ser usadas para controlar os focos poluidores.
- apresentar propostas de remediação e monitorização das águas subterrâneas para a área de estudo.

Para se atingir os objectivos propostos várias etapas ao longo do trabalho tiveram que ser elaboradas.

Para o processamento, tratamento e apresentação dos resultados alcançados recorreu-se a programas geoinformáticos, nomeadamente, para a cartografia digital o programa Microstation<sup>®</sup> SE e V8 da Bentley e módulos S.I.G. da Intergraph, ArcView da ESRI; para os elementos hidrogeoquímicos programas de tratamento estatístico ("STATISTICA 6.0" (StatSoft, Inc.) e "ANDAD 7.12" (Pereira e Sousa, 2000)) e de modelação geoquímica (Parkhurst e Appelo, 1999).

A abordagem utilizada, através do uso de vários métodos que, aparentemente, não se encontram interligados, teve como objectivo primordial tentar retirar dos dados obtidos, ao longo do trabalho, a maior informação possível. A estruturação apresentada, nos diferentes capítulos, visa facilitar a compreensão de cada uma das metodologias.

No capítulo 2, foi feita uma síntese dos problemas associados à drenagem mineira uma vez que este é um problema complexo, onde estão envolvidas várias questões que não são do domínio geral; por tal facto, tornou-se essencial a sua abordagem para uma melhor compreensão das restantes tarefas desenvolvidas nos capítulos seguintes. Assim, através de uma aproximação relativamente simples das reacções de balanço de massas necessárias para realizar uma avaliação inicial da quantidade e tipo de contaminantes presentes tenta-se explicar os princípios químicos que levam à formação da drenagem mineira ácida e da drenagem mineira neutra, os factores que controlam a velocidade da sua formação e as reacções secundárias que se podem originar.

Os tipos de efluentes mineiros e suas características físico-químicas são muito variáveis na Terra pois vários factores influenciam a sua natureza: o local (dimensão, paragénese mineral, morfologia, etc.), as características hidrológicas (dimensão da bacia, taxas de infiltração, acesso e velocidade de circulação da água e oxigénio, etc.), condições climáticas (temperatura, pluviosidade, etc.), tipo de exploração, idade da descarga, etc.

No capítulo 3 e 4, faz-se a caracterização dos factores mencionados no capítulo anterior no tocante à mina de Germunde dado que esta é a área de estudo deste trabalho.

No capítulo 5, é descrita a utilização de métodos geofísicos electromagnéticos Radiofrequency - Electromagnetics (RF-EM) e Radiomagnetotelluric-Resistivity (RMT-R) que tiveram como intuito a detecção de anomalias do sinal obtido, de alguma forma indicadoras de caminhos de escoamento preferenciais da água subterrânea e também:

- obter uma melhor visualização da geometria e estrutura no interior do aquífero;
- delimitar zonas de contaminação;
- relacionar a geologia e a estrutura da mina com o sinal obtido;
- identificar falhas em profundidade.

Para se chegar a uma interpretação correcta dos resultados, a sua validação passo a passo tornou-se muito importante. Para tal, recorreu-se à integração de todos os perfis geológicos, plantas da mina e demais informação bibliográfica existente (elaborada durante o desmonte da mesma pelos serviços técnicos da ECD) num sistema SIG a três dimensões. De seguida, confrontou-se individualmente cada sondagem e cada perfil electromagnético com o conhecimento da estrutura da mina, da geologia e da hidrogeologia.

Os resultados mostram que a aplicação destes métodos são um bom complemento e são fundamentais para a interpretação e reconhecimento de áreas contaminadas em maciços

fracturados. O RF-EM provou ser mais sensível do que no mapeamento das variações litológicas, tanto à superfície como em profundidade enquanto que o RMT-R mostrou-se mais adequado no reconhecimento das áreas contaminadas. Ambos os métodos provaram ser uma boa ferramenta para validação dos resultados hidroquímicos e geoquímicos em maciços fracturados. Todavia, convém salientar que outros métodos geofísicos poderiam ter sido utilizados existindo uma vasta literatura sobre estes e as respectivas aplicações em depósitos de carvão. Como uma boa síntese deste tema pode citar-se a leitura de Pant e Murty (2004).

No capítulo 6, várias metodologias foram usadas para a interpretação dos dados hidroquímicos obtidos durante as seis campanhas de amostragem. A rede de monitorização química escolhida teve como critérios abranger toda a área de estudo de modo a determinar quais as áreas que se encontram contaminadas. Com o intuito de obter respostas clarificadoras a perguntas diversas, várias técnicas foram utilizadas em virtude de se pretender descobrir qual delas explica melhor as interações entre água, elementos químicos, minerais, rochas e ambiente mineiro.

As metodologias compreendem não só os métodos tradicionais de análise de dados hidroquímicos mas também técnicas de estatística univariadas e bivariadas para redimensionar o grupo amostral, identificar os elementos químicos mais importantes e estudar a variabilidade e dispersão da concentração dos elementos de modo a evidenciar a influência da passagem de água em locais expostos à contaminação mineira. Numa segunda parte deste capítulo, é utilizada a estatística multivariada (Análise de Componentes Principais - ACP) como ferramenta para estudar a correlação entre o grau de contaminação observado na área de estudo e a hidroquímica. A existência de valores extremamente anómalos pode mascarar processos hidroquímicos de fundo que estejam a ocorrer nas restantes amostras. Para ultrapassar este problema, optou-se pela utilização de uma metodologia que permite a detecção das amostras representativas da anomalia geoquímica. A projecção dos resultados das matrizes obtidas no plano factorial permite a interpretação do primeiro eixo factorial como relacionado com a contaminação mineira. A projecção dos resultados sobre os mapas geológico-estruturais é uma boa ferramenta para auxiliar a visualização dos resultados e interpretá-los à luz de múltiplos conhecimentos quer a nível espacial quer a nível temporal. Para além disso, no âmbito de ferramentas de gestão, permitem a delimitação de áreas com um risco potencial quer para o ambiente quer para a saúde pública. No final deste capítulo,

tentou-se a criação de um índice de contaminação mineira no sentido de, à semelhança de outros índices, associar uma larga quantidade de informação a um único valor e, assim, permitir uma compreensão de dados científicos por pessoas, fora do domínio científico da drenagem mineira e, conseqüentemente, poderem vir a utilizar esse índice como um guia nos trabalhos de monitorização que se desenvolvam em áreas afectadas por antigas minas. A sua construção foi baseada em técnicas de estatística multivariada.

No capítulo 7, é descrita a aplicação da modelação geoquímica que teve como objectivo fundamental entender fenómenos de interacção água / rocha que possam estar a ocorrer entre os diferentes pontos de amostragem. Esta metodologia permite investigar os mecanismos de mobilização, transporte, dispersão e acumulação de metais na água para permitir uma melhor compreensão da química desses metais nas áreas mineiras. Enquanto as metodologias aplicadas nos capítulos anteriores são usadas com o intuito de delimitar pontos e áreas críticas em termos de contaminação, a integração das anteriores com a modelação geoquímica permite levantar hipóteses para explicar os fenómenos observados. Estas hipóteses são de extrema importância para a definição de medidas remediadoras que poderão vir a ser tomadas.

No capítulo 8, faz-se a abordagem às técnicas de remediação que existem e as que se acham mais adequadas a serem utilizadas na área de estudo. Para tal, são utilizados os conhecimentos obtidos por todas as metodologias descritas nos capítulos anteriores.

## **1.5 Terminologia**

Em Portugal, a bibliografia existente sobre estudos desenvolvidos na área de minas contaminadas por drenagem mineira não é muito vasto. Por isso, a maior parte da bibliografia consultada foi em língua inglesa. Foi efectuada uma pesquisa da terminologia mineira em língua portuguesa mas em quase todos os casos foi em vão. A sua tradução nem sempre é fácil, uma vez que o seu significado pode tornar-se pouco explícito ou mesmo ficar alterado. Estas razões levaram a autora a optar pela inclusão dos termos ingleses. No entanto, a primeira vez em que cada uma das terminologias é mencionada no trabalho o seu significado é explicado.

## **Drenagem Ácida da Mina ou Drenagem Ácida das Rochas?**

Durante a revisão bibliográfica efectuada aquando da execução deste trabalho, verificou-se que não havia consistência na terminologia empregue para designar o processo de contaminação das águas superficiais e subterrâneas devido à existência e /ou abandono de uma mina.

"*Drenagem Mineira Ácida*" (DMA), em inglês, "*Acide Mine Drainage*" é a denominação mais comumente encontrada na bibliografia para designar a drenagem resultante da oxidação natural dos minerais sulfurosos encontrados numa mina ou numa escombreira (Geldenhuis e Bell, 1998; Younger *et al.*, 2002; entre outros).

"*Drenagem Ácida de Rochas*" (DAR), em inglês, "*Acid Rock Drainage*" é um termo usado predominantemente no Canadá, associado ao aumento da acidez mineral encontrado nas águas devido à passagem da água pelas rochas, não estando a exploração mineira ligada ao processo de contaminação (Younger *et al.*, 2002).

Para os mesmos autores, o uso desta terminologia é errada, essencialmente, por duas razões:

- o termo "rochas ácidas", em *sensu stricto*, é a designação de um grupo de rochas ígneas que não estão relacionadas com problemas de drenagem ácida e, pode levantar confusão com o conceito petrográfico;
- a drenagem ácida é relativamente rara em estratos sulfurosos que não foram sujeitos à extracção mineira; todavia, torna-se um processo comum quando associado à actividade mineira que fomenta o aumento quer da permeabilidade das rochas quer da entrada de oxigénio nesses estratos ricos em sulfuretos. Por esse facto, os autores referidos, anteriormente, consideram errado dissociar a drenagem ácida da exploração mineira.

São poucos os casos nas referências bibliográficas que utilizam esta designação para se referirem a exemplos onde este processo de oxidação da pirite não está relacionado com as minas (McKnight e Duren, 2004). Contudo, a maioria dos outros autores, utilizam o termo "Drenagem Ácida de Rochas" quando se referem ao problema de drenagem ácida devido à exploração mineira (Taylor e Waring, 2001; Banks, 2004).

Neste trabalho, a drenagem ácida encontra-se associada à actividade mineira pelo que, após séria reflexão sobre o assunto, se adopta a terminologia "Drenagem Mineira Ácida" (DMA), como designado por Geldenhuis e Bell (1998) e Younger *et al.* (2002), entre outros.