

# Aplicação do método geofísico RF-EM (Radiofrequency - Electromagnetics) na área envolvente da mina de Germunde. Interpretação de resultados

R. Santos<sup>(a, c,1)</sup> & A. C. Dill<sup>(b,c,2)</sup>

a – Instituto Geológico e Mineiro, Rua da Amieira, 4466-956 S. Mamede de Infesta

b – Universidade do Algarve / Instituto Geológico e Mineiro, Estrada da Portela, Zambugal, Apartado 7586, 2720 Alfragide

c – Centro de Valorização de Recursos Minerais, Instituto Superior Técnico

1 – renata.santos@igm.pt, 2 – amelia.dill@igm.pt

## RESUMO

**Palavras-chave:** mina abandonada; carvão; águas ácidas; geofísica electromagnética; hidrogeologia e fracturação.

A mina subterrânea de Germunde foi a última mina da Bacia Carbonífera do Douro (BCD) a ser encerrada. Ao longo da sua actividade, a mina sofreu graves problemas de subsidência, devido ao abatimento sucessivo das cavidades abertas pela exploração. O seu encerramento ocorreu em 1994, tendo-se verificado a inundação posterior e propositada das galerias da mina por águas subterrâneas, como forma de evitar abatimentos futuros e provocar a precipitação dos metais em solução.

O método RF-EM (*Radio Frequency Eletromagnetics*) é um método que permite a detecção de anomalias electromagnéticas provocadas por falhas, fracturas, contactos litológicos e condutas naturais de água subterrânea.

A aplicação deste método, na área envolvente da mina, teve como objectivo principal a clarificação da geologia – localização de contactos litológicos, falhas e fracturas condutoras de água. Pretendia-se ainda verificar qual a resposta do método na demarcação das galerias inundadas. Esperava-se que a presença de águas ácidas e mais mineralizadas, de condutividade eléctrica elevada, provocasse um aumento da relação entre a componente vertical de quadratura do campo secundário e a componente do campo magnético primário.

Foram realizados 16 perfis, com gamas de frequência baixas (16 e 24 kHz). Os emissores localizados a NE e NW respectivamente, da área de estudo, foram escolhidos em função das direcções principais das estruturas.

Os resultados obtidos foram de seguida comparados com a informação geológica e com a informação pormenorizada das galerias de exploração da mina. Verificou-se uma boa correlação, embora subsistam algumas dúvidas em relação à delimitação das galerias inundadas que serão necessárias esclarecer no futuro.

## Introdução

O encerramento da mina de Germunde, mina de carvão localizada no Couto Mineiro do Pejão e explorada por lava subterrânea, ocorreu nos finais de 1994. Anteriormente a esse fecho, a Empresa carbonífera do Douro tinha iniciado um estudo de impacte ambiental que se prolongou até 1995. Como resultado desse estudo e como forma de evitar fenómenos de subsidência futuros dos terrenos à superfície, inundaram-se as galerias abertas pela lava subterrânea. No que diz respeito à qualidade das águas subterrâneas no interior da mina e da área envolvente, a Empresa previa uma melhoria a curto prazo (aumento do pH, com diminuição do teor de metais em solução). No entanto essa melhoria não foi verificada em 1998, como consta nos relatórios elaborados pelo Instituto Geológico e Mineiro, ao abrigo do protocolo com a Direcção Geral do Ambiente (Pedrosa, 2000; Pedrosa *et al*, 2000; Canto Machado, 1999).

Os trabalhos de caracterização prévia, que se irão apresentar de seguida, enquadram-se na tese de doutoramento da primeira autora, que visa avaliar a contaminação das águas subterrâneas, decorridos oito anos após o encerramento e propor soluções para a reabilitação das mesmas.

Recorreu-se, nesta fase, a um método geofísico electromagnético, que utiliza ondas de rádio nas gamas de frequência dos 12 aos 300 kHz – *Radio Frequency Electromagnetics RF-EM* – e que contribuiu para uma melhor visualização da geometria e estrutura no interior da mina. Os métodos electromagnéticos são de rápida utilização e adequados aos objectivos pretendidos.

## Área de estudo

A Bacia Carbonífera do Douro (BCD), onde está integrada a mina de carvão de Germunde, situa-se a noroeste de Portugal e é constituída por uma estreita faixa de terrenos do Carbonífero continental, de orientação geral NW-SE. Trata-se de uma bacia de carácter intramontanhoso localizada na Zona Centro-Ibérica.

A área de estudo está limitada a noroeste pelas instalações da Mina de Germunde, situadas na margem esquerda do Rio Douro e a sudeste pelo Rio Arda (Figura 1). A jazida de carvão encontra-se limitada a sudoeste pelos terrenos do Precâmbrico Superior e/ou Câmbrico (“Complexo Xisto – Grauváquico”) e a nordeste pelo formações do Ordovícico.

O Carbonífero é, nesta área, genericamente constituído pela Brecha de base à qual se sobrepõe um sistema complexo de escamas de carvão, intercalados nos conglomerados, arenitos e xistos, apresentando direcção de estratificação aproximadamente N 140°E e inclinação variável entre 60° e 90°, sempre para NE (Jesus, 2001). As restantes unidades geológicas subjacentes e presentes na área (Figura 1) são (Gaspar *et al*, 1993):

- Cristas quartzíticas e xistos intercalados do Carenigiano (Ordovícico);
- Xistos ardosíferos – Formação de Valongo do Landeiliano (Ordovícico);
- Intercalações de xistos e quartzitos do Caradociano (Ordovícico);
- “Complexo Xisto-Grauváquico” (C.X.G.), essencialmente constituído por xistos e grauvaques em série alternada tipo “flysch”, do Câmbrio inferior.

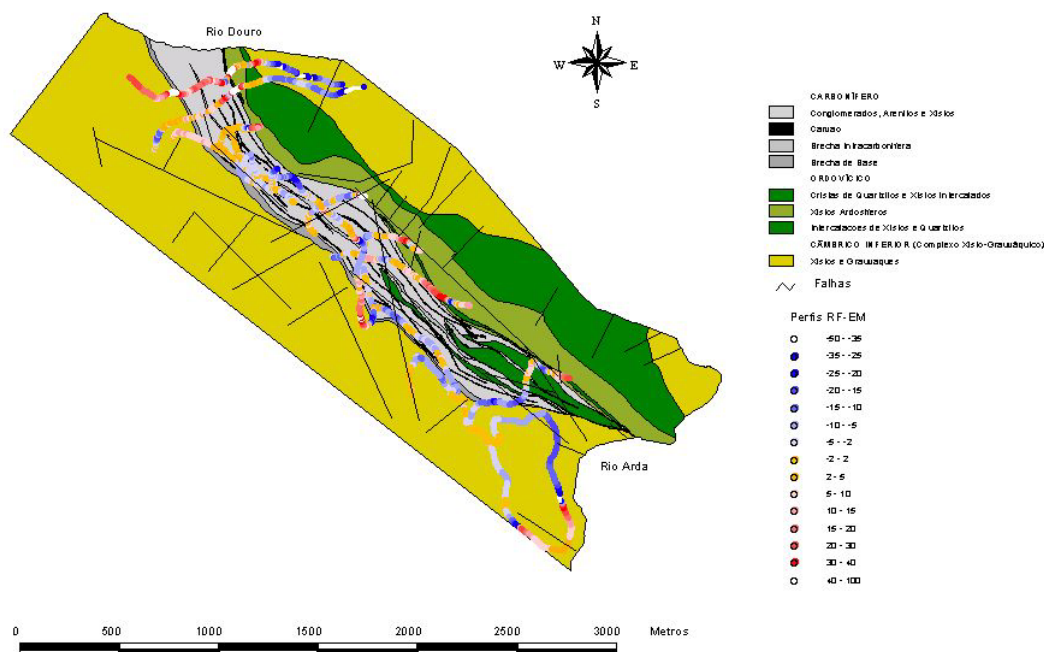


Figura 1 – Localização dos perfis RF-EM sobre extracto da Planta Geológica do Sector Germunde – Arda, E.C.D.,SA (elaborada por A. M. F. Gaspar (ECD), A. P. Jesus (EDM) & M. Durão. (ECD), 1993).

Ao longo de toda a Bacia é possível observar importantes acidentes conjugados, de direcção NW-SE (coincidentes com a superfície axial do Anticlinal de Valongo) e de direcção NE-SW. Para além destes, encontram-se acidentes menores de direcção NNE-SSW, NNW-SSE, ENE-WSW e WNW-ESSE.

Associado aos fenómenos de subsidência ocorridos na mina, existem, ainda, descontinuidades verticais à superfície do terreno, vulgarmente designadas, nos relatórios técnicos, por “quebras verticais” (Chaminé & Silva, 1997).

### Método Radiofrequency – Electromagnetic (RF-EM)

O método RF-EM utiliza, como fonte de energia, ondas de rádio de baixa a muito baixa frequência, na banda de 12 aos 300kHz, que são emitidas por antenas muito potentes situadas ao longo de todo o mundo. A profundidade de penetração das ondas no subsolo depende da frequência (F) do emissor (em hertz) e da resistividade ( $\rho$ ) das litologias presentes.

Este método mede a intensidade do campo magnético primário ( $H_p$ ) através de uma bobine de eixo horizontal e detecta as componentes verticais por intermédio de uma outra bobine de eixo vertical. As componentes verticais ( $H_s$ ) encontram-se em fase ou em quadratura em relação ao campo primário. Os resultados exprimem-se sob a forma de uma relação entre as intensidades de ambos campos e em percentagem ( $H_s/H_p\%$ ) (Carvalho Dill *et al*, 1998).

O dispositivo utilizado é um protótipo desenvolvido na Universidade de Neuchâtel por Prof. Imré Müller e Duprex, pertencente ao Instituto Geológico e Mineiro. O registo da variação do sinal faz-se de modo contínuo, em intervalos de 2 segundos. Para a localização dos pontos de medição recorreu-se a um aparelho de GPS, com uma precisão de 5 a 15 metros e da marca Garmin 12 XL.

## Resultados

Realizaram-se 16 perfis na área de estudo (Figura 1), utilizando uma gama de frequências baixas, de modo a atingirem-se profundidades maiores. Assim, e tendo em conta o posicionamento da estrutura geológica, escolheram-se duas gamas de frequências distintas. Os primeiros 11 perfis foram realizados utilizando o emissor GBR (frequência 16 kHz), para identificar estruturas de direcção NE. Para os restantes 5 perfis, utilizou-se o emissor NAA (24 kHz) situado a NW, de modo a localizar contactos litológicos e outras estruturas paralelas à disposição das camadas.

Registaram-se os valores das componentes em fase e de quadratura, tendo-se, preferencialmente utilizado, para o estudo da fracturação e variação litológica, os valores de quadratura, uma vez que esta é mais sensível às variações laterais de resistividade aparente das rochas. Obtiveram-se gráficos da variação da relação em percentagem entre a intensidade da componente de quadratura (campo secundário) e a componente magnética do campo primário (Hs/Hp%) com a distância, tendo-se localizado, de seguida, as falhas, contactos litológicos e anomalias provocadas pelo abatimento de galerias e estruturas presentes.

A Figura 2 ilustra a variação do sinal de quadratura, perante o sistema de falhas de direcção NE-SW, que ocorre na Formação de Valongo, próximo do Rio Arda (vale de falha). O contacto entre os xistos ardosíferos e os quartzitos traduz-se pela diminuição dos valores de quadratura (zona assinalada por um círculo). Pela observação tridimensional dos perfis, em ambiente ARC-View, foi possível determinar a orientação das falhas que se apresentam no Complexo Xisto-Grauváquico (C.X.G.) com orientação NW-SE (ver início do perfil).

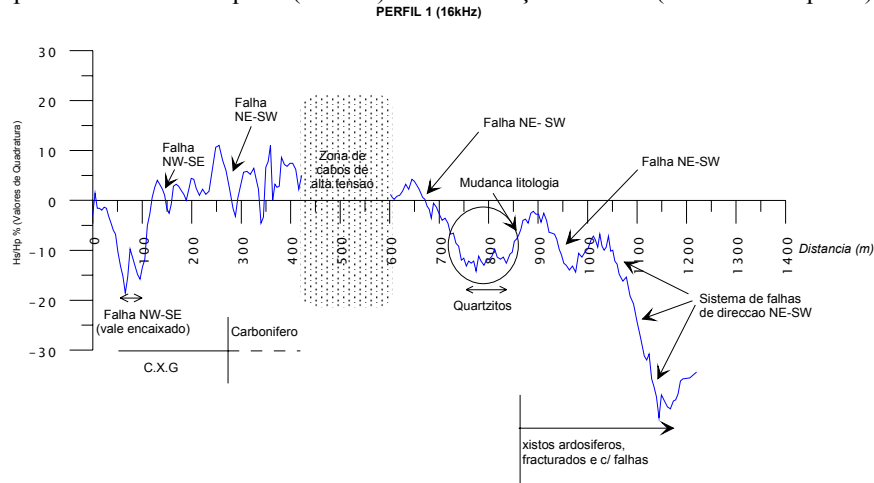


Figura 2 – Perfil 1 exemplificando o efeito de falhas e mudanças litológicas no sinal de quadratura. A presença de fios de alta tensão localizados preferencialmente na zona de contacto entre o Carbonífero e o Ordovícico impediu que o mesmo fosse registado.

As camadas de carvão e a zona de subsidência encontram-se bem assinaladas na Figura 3. O aumento da condutividade provocado tanto pelo carvão, como pela presença de materiais mais finos de colmatagem, reflecte-se num aumento de valores de quadratura.

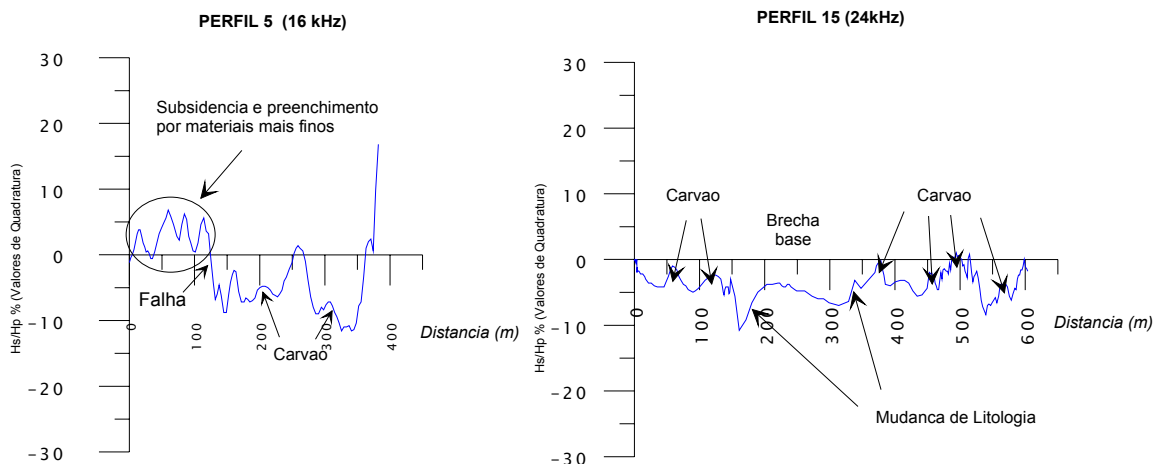


Figura 3 – Perfil 5 (16kHz) e Perfil 15 (24 kHz), ilustrando o efeito no sinal de quadratura, das camadas de carvão e das galerias subsidentes colmatadas por materiais mais finos.

## Conclusões

Foi utilizado o método electromagnético RF-EM, na área envolvente à mina de Germunde, com o objectivo de localizar, em profundidade, contactos litológicos, falhas e fracturas condutoras de água e de estudar a resposta do método perante galerias inundadas por águas ácidas.

Foram realizados 16 perfis, com gamas de frequência baixas (16 e 24 kHz), vindas de emissores situados a NE e NW da área de estudo, tendo-se verificado uma boa correlação entre a resposta do método e a informação geológica de pormenor (1:2500) disponível.

Para a localização das galerias inundadas por águas ácidas, torna-se, ainda necessário, verificar *in situ*, recorrendo a sondagens e análises químicas das águas, os locais indiciados nos perfis. Com efeito, a presença de metais em solução, traduz-se por um aumento da condutividade, detectados nalguns locais, o que se traduz, no presente estudo, por valores crescentes da relação Hs/Hp em percentagem. Estes parecem ter relação com as galerias inundadas por água e que não sofreram colmatação.

## Bibliografia

- Dill, A. C.; Müller, I.; Costa, A. M. & Monteiro, J. P. (1998) – Importância do uso de métodos geofísicos electromagnéticos Very Low Frequency Electromagnetics (VLF-EM) e radiomagnetotelluric-Resistivity (RMT-R) no estudo de Aquíferos Cársicos do Alentejo e do Algarve. *4º Congresso da Água*, Lisboa, 1998.
- Chaminé, H. I. & Silva, P. B. (1997) – A Subsidência Mineira na Mina de Carvão de Germunde – Contribuição da Geologia de Superfície. *GEOlogos, Dep. Geologia/Centro de Geologia da Universidade do Porto*, 1 - 7.
- Empresa Carbonífera do Douro (1995) – Investigação sobre trabalhos superficiais e subterrâneos para minimizar os efeitos da subsidência de minas de carvão com camadas sub-verticais. Relatório final. Comissão das Comunidades Europeias. *Direcção Geral Energia – D. G. XVII. Investigação Tecnológica Carvão*, Lisboa, 229 p.
- Gaspar, A. M. F.; Jesus, A. P. & Durão, M. (1993) – Planta Geológica do Sector Germunde - Arda (Escala 1: 2500). *Empresa Carbonífera do Douro, S.A.* (inédito).
- Gaspar, A. M. F.; Silva, P. B. & Chaminé, H. I. (1994) – Mining subsidence and its relation with geological features in the Germunde coal mine (NW of Portugal). In: R. Oliveira, *et al* (eds): *7th International IAEG Congress*. Balkema, Rotterdam: 4441 – 4444.
- Jesus, A. P. (2001) – Génese e Evolução da Bacia Carbonífera do Douro (Estefaniano C inferior, NW de Portugal): Um Modelo. *Tese de Doutoramento, Univ. Porto*, 232 p.
- Müller, I. & Carvalho Dill, A. (1996) – Advances on electromagnetic prospecting to survey shallow aquifers and contaminated sites. *International Congress on Environment and Climate*, Roma.
- Pedrosa, M.Y.; Machado, M. J. & Santos, R. (2000) – Hidrogeologia do Couto Mineiro do Pejão. Notas preliminares. In: J. Samper, T. Leitão, L. Fernández & L. Ribeiro (eds): *Jornadas hispano-lusas sobre las aguas subterráneas en el noroeste de la península ibérica*. A Coruña 2000. AIH-GE, 467-473.
- Santos, R. (1998) – Estudo Hidrogeológico e Hidroquímico da área envolvente do Couto Mineiro do Pejão. Dados preliminares. *Relatório de Estágio Profissionalizante Faculdade de Ciências da Universidade do Porto/Instituto Geológico e Mineiro*, Porto, 139 p. (inédito).