

GESTÃO AMBIENTAL SUBTERRÂNEA

Vidal Félix Navarro Torres, Eng.º, MSc., PhD
IST – Universidade Técnica de Lisboa

RESUMO

O presente trabalho aborda a gestão ambiental subterrânea enquadrada no conceito do ambiente subterrâneo como sistema dinâmico de interação mútua e integral de quatro importantes domínios: atmosfera subterrânea, água subterrânea, rocha e componente biológico (homem); a os quais associa a tecnologia, a economia e sistemas de gestão ambiental subterrânea. O conteúdo é parte do livro titulado “Engenharia Ambiental Subterrânea e Aplicações” (Navarro Torres, V. e Dinis da Gama, C., 2005), incluindo apenas alguns resultados.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos vinte anos e cada vez com maior intensidade, existe uma justificada preocupação sobre o antagonismo economia-ecologia e sobre a qualidade ambiental na Terra. Esta preocupação está permitindo desenvolver políticas que conduzam a uma sociedade ambientalmente sustentável.

Os factores ambientais susceptíveis de serem modificados pelo homem ocasionam problemas ao próprio homem, a flora, a fauna, o solo, a água, o ar, o clima, a paisagem e os bens do património cultural.

Muitas actividades industriais, como a mineração, desenvolvem trabalhos no ambiente subterrâneo, cuja duração pode variar de alguns dias a dezenas de anos. O ambiente é alterado e podem ocasionar danos ao homem, através dos gases, poeiras, temperatura, ruído, subsidência e desprendimento de rochas, incêndios, radiação, inundação, águas ácidas, etc. ao ultrapassarem os valores limite admissíveis.

Portanto, as experiências, procedimentos, políticas, gestões, normas, avaliação de impactes e outros importantes avanços do ambiente, são também definitivamente importantes para o ambiente subterrâneo.

2. METODOLOGIA DE GESTÃO DO AMBIENTE SUBTERRÂNEO

2.1. O homem como parte do ecossistema

O ambiente envolve uma componente antropocêntrica, que trata das causas e efeitos provocados pelo homem, visando a satisfação das suas necessidades e a consecução das suas mais nobres aspirações. O estado do ambiente depende das influências conjuntas da atmosfera, clima, processos químicos, terrenos e cobertura vegetal, fauna e seres humanos (Dinis da Gama, C., 2000) (fig. 1.a).

O desequilíbrio ambiental provocado pelo homem e pelo seu crescimento quantitativo (fig. 1.b) gera problemas decorrentes e consequências.

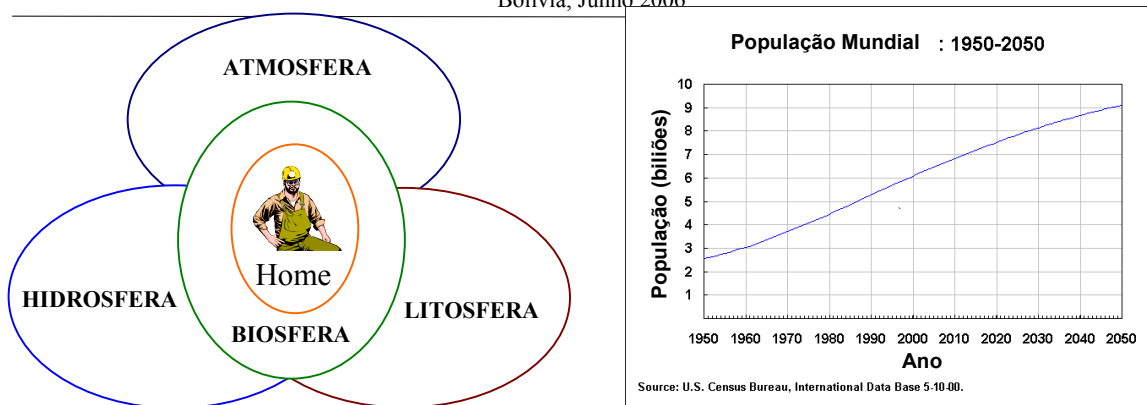


Figura 1.a – Os principais constituintes do ambiente na Terra (Dinis da Gama, C., 2000)

Figura 1.b – Evolução da população mundial (www.census.gov/ipc/www/world.html)

2.2. Definição de ambiente subterrâneo

De forma similar ao ambiente exterior, o ambiente subterrâneo, é o meio com componentes ambientais não biológicas (ar, água e rocha) e biológicas (vírus, bactérias, incluído o próprio homem) (fig. 2).

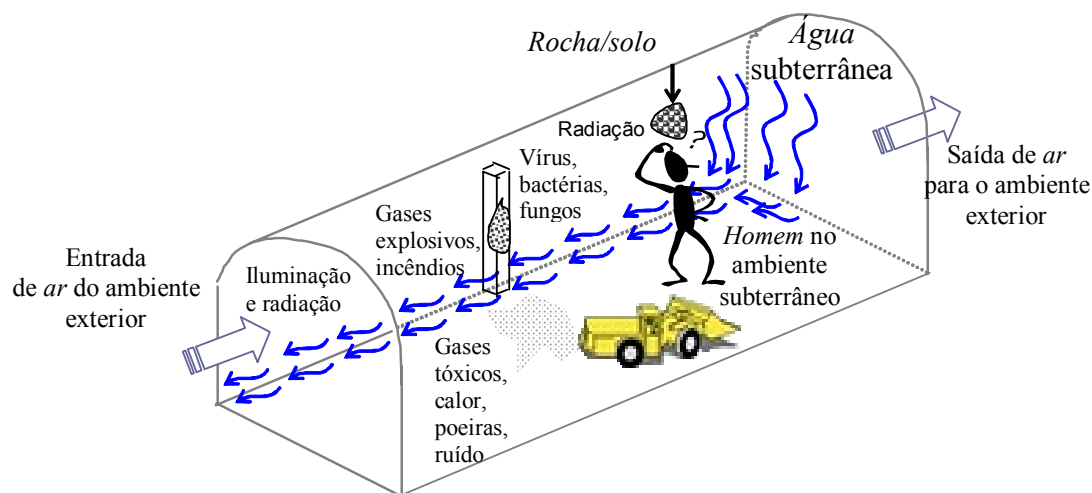


Figura 2 – Ambiente subterrâneo como parte do ambiente global ou exterior

De forma similar a o que acontece no ambiente exterior, entre as componentes do ambiente subterrâneo existe uma interação e relação, assim, qualquer alteração das condições naturais destes componentes causam impactos ambientais podendo pôr em risco a vida humana.

De igual forma o Sistema de Gestão Ambiental Subterrâneo (SGAS) pode-se definir, como o conjunto de acções, de toda a estrutura organizacional da empresa, encaminhadas a prevenir ou minimizar os efeitos não desejados sobre o ambiente, ocasionados pelas

atividades de exploração subterrânea que realiza o homem.

2.3. Metodologia de gestão

A proposta da metodologia de Gestão Ambiental Subterrânea (GAS) é baseada no processo da gestão ambiental do ambiente exterior, com particularidades próprias do meio subterrâneo, de modo que a exploração dos recursos naturais do subsolo (minerais) se realize com um plano de protecção ambiental e condições de qualidade do ambiente consoante aos padrões existentes.

Esta metodologia proposta da GAS é para situações de ambiente subterrâneo em minas com operação (fig. 3) e para situações de projectos novos (fig. 4).

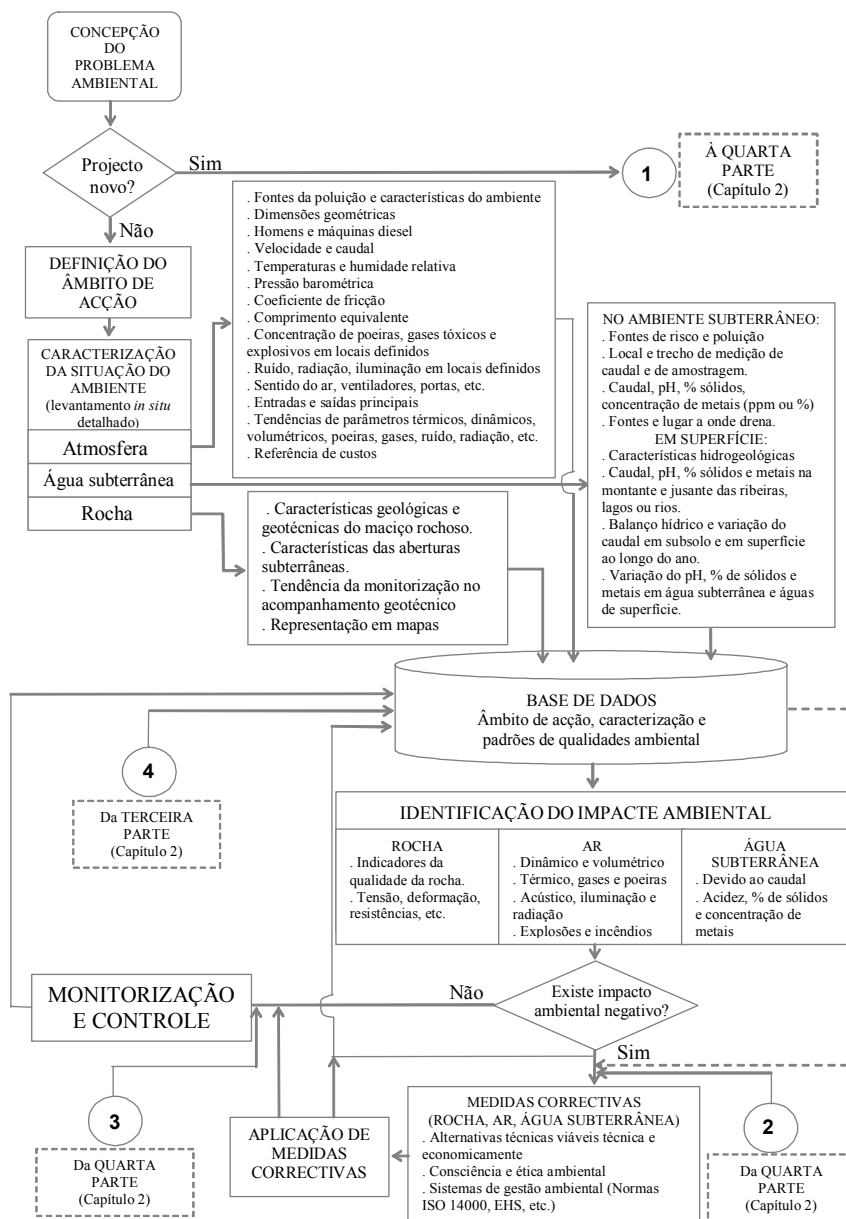


Figura 3 – Metodologia da GAS para minas em operação que integra a figura 4.

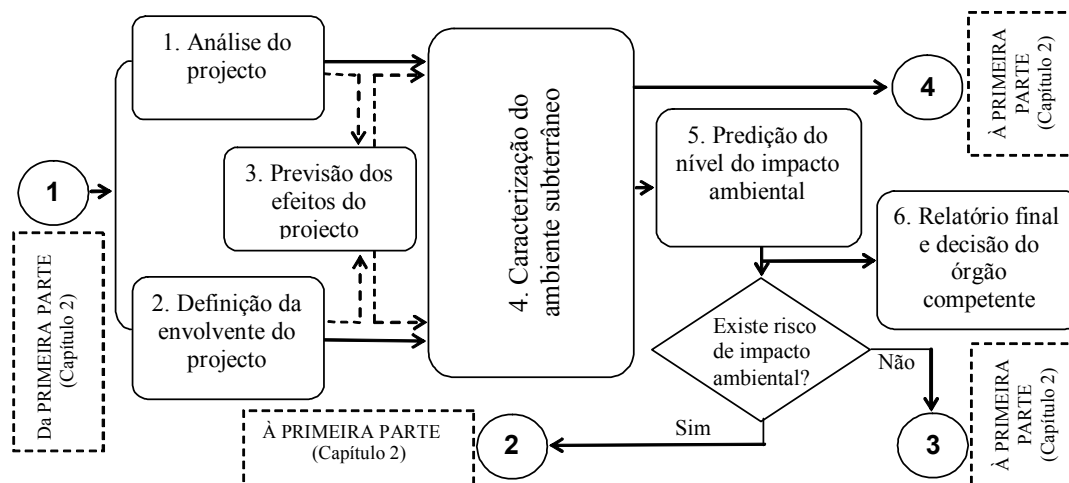


Figura 4 – Estrutura geral da GAS aplicada novos projectos, integrada na figura 4.

3. APLICAÇÃO A DUAS MINAS PORTUGUESAS E UMA PERUANA

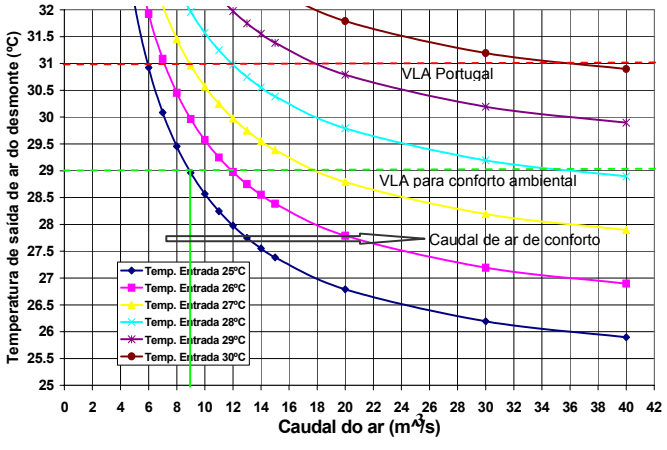
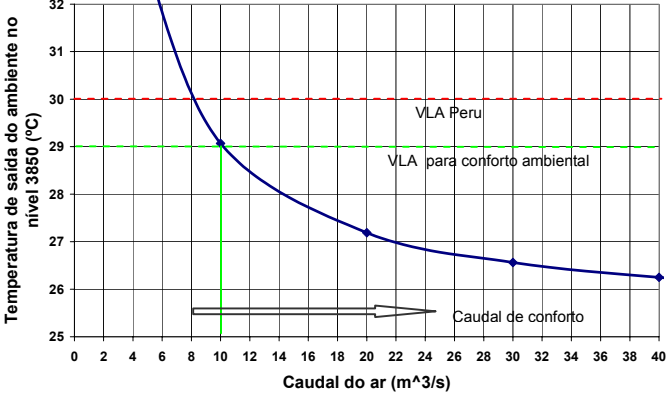
3.1. Conforto ambiental térmico

Relativamente ao impacte ambiental térmico a aplicação foi na mina de Neves Corvo e aberturas subterrâneas com presença de água termal (nível 3850) na mina de San Rafael. Não se considera a mina da Panasqueira, porque não apresenta problemas relacionados com a temperatura.

Para minas subterrâneas a considerável profundidade (~ 600 a 800 m) que usam explosivo e equipamentos diesel, o caudal do ar Q (m^3/s) que permita obter a temperatura de conforto ambiental pode ser com curvas similares ao ilustrado na figura 5 que é resultado da aplicação de modelos matemáticos desenvolvidos, onde T_e é a temperatura de entrada no ambiente subterrâneo ($^{\circ}C$) e T_s é a temperatura de saída deste ambiente ($^{\circ}C$).

É interessante observar que, quando a temperatura de entrada no ambiente subterrâneo ultrapassa os $29^{\circ}C$, torna-se impossível conseguir a temperatura de conforto ambiental com a utilização de ar, porque precisa de quantidades exorbitantes de ar (curva assintótica) pelo que, a partir desta situação, é preciso um sistema de refrigeração.

Figura 5 – Resultados da medida correctiva para a mitigação do impacte ambiental térmico
Resumo

Resumo	Resultado de medidas correctivas
<p>a) A temperatura na entrada do ar deve ser no máximo de 29 °C para não ultrapassar o valor limite admissível.</p> <p>b) A temperatura na entrada não deve ser superior a 27 °C para conseguir o conforto ambiental.</p> <p>c) Quanto maior é a temperatura na entrada do ar maior caudal de ar é necessário para o conforto.</p> <p>d) Consoante á última conclusão, os caudais de conforto variam de 9 m³/s até um caudal requerido e/ou viável economicamente.</p> <p>e) A partir de 36 m³/s, o aumento do caudal tem uma insignificante redução da temperatura no ambiente subterrâneo.</p>	<p>Neves Corvo</p>  <p>Temperatura de saída de ar do desmonte (°C)</p> <p>Caudal do ar (m³/s)</p> <p>VLA Portugal</p> <p>VLA para conforto ambiental</p> <p>Caudal de ar de conforto</p> <p>Temp. Entrada 25°C</p> <p>Temp. Entrada 26°C</p> <p>Temp. Entrada 27°C</p> <p>Temp. Entrada 28°C</p> <p>Temp. Entrada 29°C</p> <p>Temp. Entrada 30°C</p>
<p>a) A temperatura na entrada deve ser no máximo 29 °C para não ultrapassar o valor limite admissível da norma peruana.</p> <p>b) A temperatura na entrada para o conforto deve ser menor de 27 °C.</p> <p>c) O caudal mínimo de ar de conforto é de 10 m³/s.</p> <p>d) A partir de 35 m³/s o aumento do caudal tem uma insignificante redução da temperatura no ambiente subterrâneo.</p>	<p>San Rafael</p>  <p>Temperatura de saída de ar do ambiente no nível 3850 (°C)</p> <p>Caudal do ar (m³/s)</p> <p>VLA Peru</p> <p>VLA para conforto ambiental</p> <p>Caudal de conforto</p>

3.2. Poluição dinâmica, volumétrica e com poeiras e gases

O ambiente subterrâneo considerado para o estudo da velocidade e caudal do ar abrange perto de 130 km nas três minas, com secções médias que variam de 9 m² a 20 m² e profundidades de 210 a 1200 metros.

O caudal de ar caracterizado nas aberturas subterrâneas, em relação ao caudal requerido para as condições operacionais de cada mina é menor em 30 a 35%, ocasionando problemas de impacte ambiental de nível alto em alguns locais.

O volume de ar requerido para produzir uma tonelada de minério na mina de Neves Corvo é 11122 m³/t, na mina de San Rafael 8129 m³/t e na Panasqueira de 4908 m³/t. Estes resultados mostram que, quanto maior é a produção maior o é volume de ar

necessário.

Nas minas de Neves Corvo e Panasqueira foram identificados uma concentração de NO que varia de 0 a 6 ppm, NO₂ de 0 a 0.4 ppm e O₂ de 20.3 a 20.9 %. As concentrações de poeiras e sílica livre são consideravelmente altas (fig. 6).

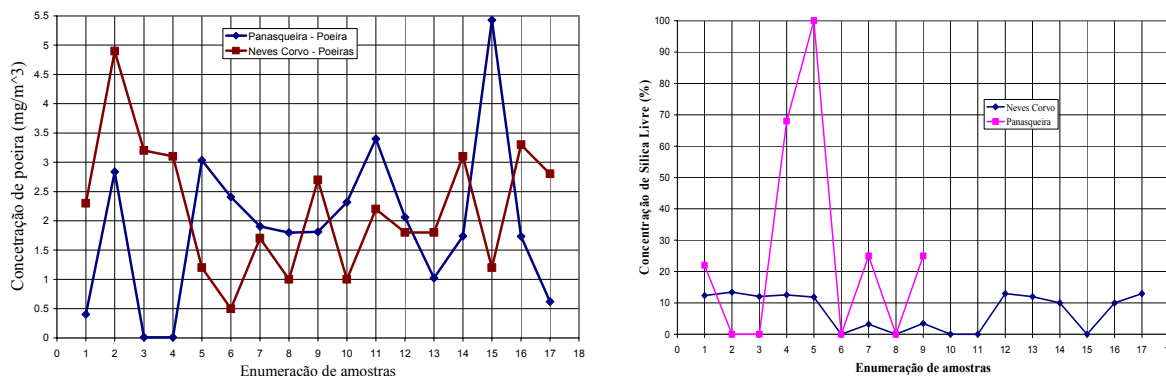


Figura 6 – Concentração de poeiras (esquerda) e sílica livre (direita) nas minas de Neves Corvo e Panasqueira

O caudal mínimo admissível nas minas de Neves Corvo e Panasqueira (Portugal) são menores do que na mina de San Rafael (Peru), pelo facto que a norma peruana considerar o caudal mínimo admissível em função da altitude, e estando esta acima de 4000 m, o caudal é praticamente o dobro do requerido nas minas portuguesas.

A grande diferença da potência de motor diesel utilizada na mina de San Rafael é porque o sistema de transporte principal é realizado mediante camiões com motor diesel até o exterior, ou seja, o sistema utilizado é quase em 100% trackless mining, mas nas minas de Neves Corvo e Panasqueira é por sistema de extracção em poços verticais e inclinados.

As minas de Neves Corvo e San Rafael apresentam impacte ambiental para velocidades até 1 m/s e caudal até 16 m³/s, mas na mina da Panasqueira este problema ambiental acontece para velocidades até 0.5 m/s e caudais até 7 m³/s (fig.7).

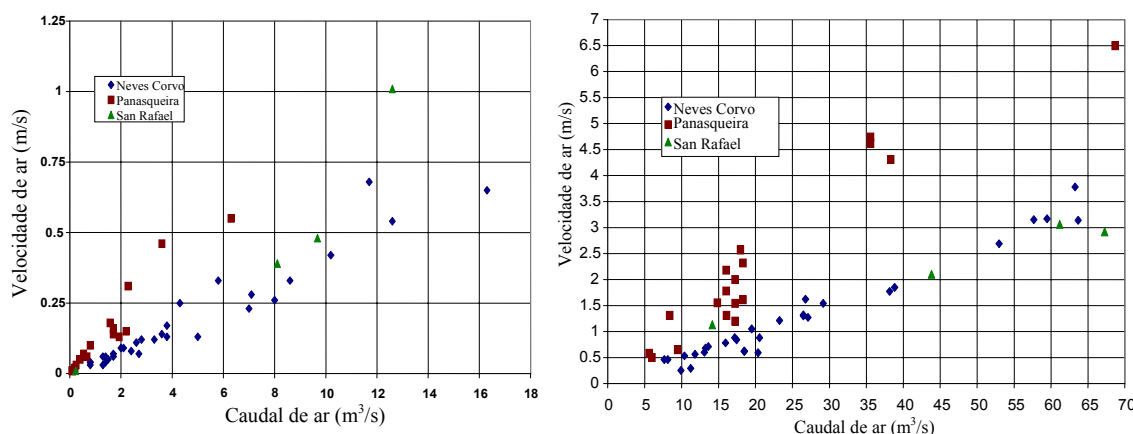


Figura 7 – Velocidade e caudal de impacte ambiental negativo identificados (esquerda) e da melhor alternativa de medida correctiva aplicada (direita) das três minas em estudo

As medidas correctivas aplicadas estão compreendidas desde aproximadamente 0.20 m/s para Panasqueira e Neves Corvo, e desde 1.0 m/s para a mina de San Rafael, reflectindo estes resultados a diferença de normas e condições em cada país.

O declive das tendências confirmam a influência da secção das aberturas subterrâneas, ou seja, a menor secção corresponde a maior pendente e vice-versa.

Os resultados comparativos permitem exprimir que a velocidade mínima de ar para obter uma boa qualidade está entre 0.5 a 0.8 m/s (velocidade crítica).

Os custos por m³ de ar na atmosfera subterrânea na mina de San Rafael são 3.5 vezes e 14 vezes maiores que em Neves Corvo e Panasqueira, respectivamente, e os custos em Neves Corvo são 4 vezes maiores que na Panasqueira.

3.3. Impacte ambiental acústico

Este descritor ambiental foi estudado na mina da Panasqueira (fig. 8), onde o nível sonoro contínuo equivalente Leq máximo caracterizado varia desde 92 dB (A) até 120 dB (A).

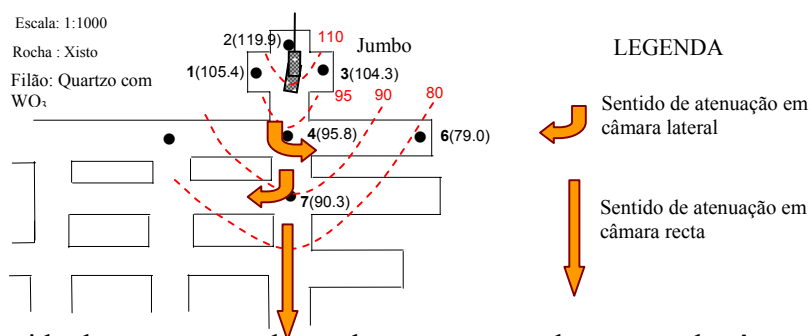


Figura 8 – Sentido da propagação das ondas sonoras nos desmontes de câmaras e pilares

Comparativamente com os registos das medições em Neves Corvo o nível sonoro contínuo equivalente no ambiente subterrâneo da Panasqueira é maior. Por exemplo, no caso do LHD diesel na Panasqueira é maior em 6 dB (A), nos jumbos de perfuração é maior em 15 dB (A) e nos ventiladores é maior em 14 dB (A). Esta diferença poderá ser provocada pela menor secção da escavação subterrânea e a distância onde foi medida.

Em termos gerais a tendência da atenuação do ruído pela distância para todas as fontes importantes identificadas está patente na fig. 9.

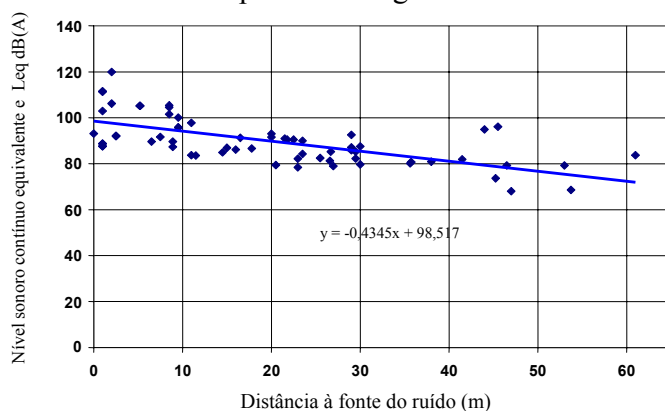


Figura 9 – Tendência da atenuação do ruído pela distância no ambiente subterrâneo da mina

da Panasqueira

As medidas de protecção colectiva são formas de intervenção ao nível estrutural tais como: actuação sobre a fonte produtora de ruído e actuação sobre as vias de propagação, como é o caso do isolamento anti-vibratório, tratamento acústico das superfícies e cabinas.

A medida de organização é relacionada com a diminuição do tempo de exposição do homem, que é possível conseguir, por exemplo, com a rotação do pessoal.

3.4. Impacte ambiental nas águas subterrâneas e medidas de correctivas

Estudos sobre o problema ambiental no domínio ambiental água no ambiente subterrâneo também foi realizado na mina da Panasqueira (fig. 10), portanto a análise é baseada fundamentalmente nestes resultados, mas considera-se importante referir o resultado de estudos realizados na mina de Neves Corvo (Fernandez Rubio , et al., 1990).

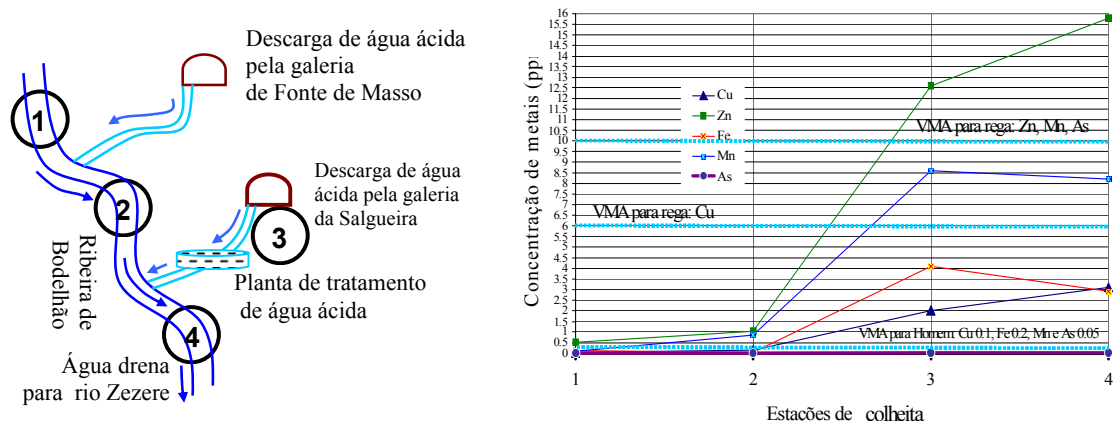


Figura 10 – Concentração de metais nos pontos de colheita da ribeira de Bodelhão

A medida correctiva para a mitigação do impacte ambiental pela presença de metais e o pH podem ser processos químicos e/ou biológicos (passivos) (fig. 11), onde os últimos apresentam menores custos.

3.5. Instabilidade e desabamento de rochas e medidas correctivas

As rochas presentes nas áreas de estudo na mina de Neves Corvo são observadas na rampa CRAM03 e desmontes Bench and Fill da área Neves Norte e são principalmente do grupo filito – quartzito (PQ) e complexo vulcano -sedimentar (CVS).

Para a avaliação do impacte ambiental subterrâneo devido ao desprendimento e instabilidade das rochas, não existe uma norma, e portanto a forma mais recomendável de realizar esta avaliação é procurando padronizar os parâmetros geotécnicos do maciço num local determinado.

Na mina de Neves Corvo e na área da rampa CRAM03 foram identificadas zonas sem impacte ambiental e outras áreas de leve a moderado, com presença dum só trecho com alto impacte ambiental.

As medidas correctivas adoptadas foram com base na metodologia proposta por Barton e Grimstad (fig. 12).

Para o impacto ambiental de nível alto identificado na rampa CRAM03, considerou-se recomendável aplicar pregagens ou cabos de 20 a 25 mm de diâmetro e 3.7 m de comprimento, espaçados a 2.5 m, com uso ocasional de malha e betão projectado de 3 cm de espessura.

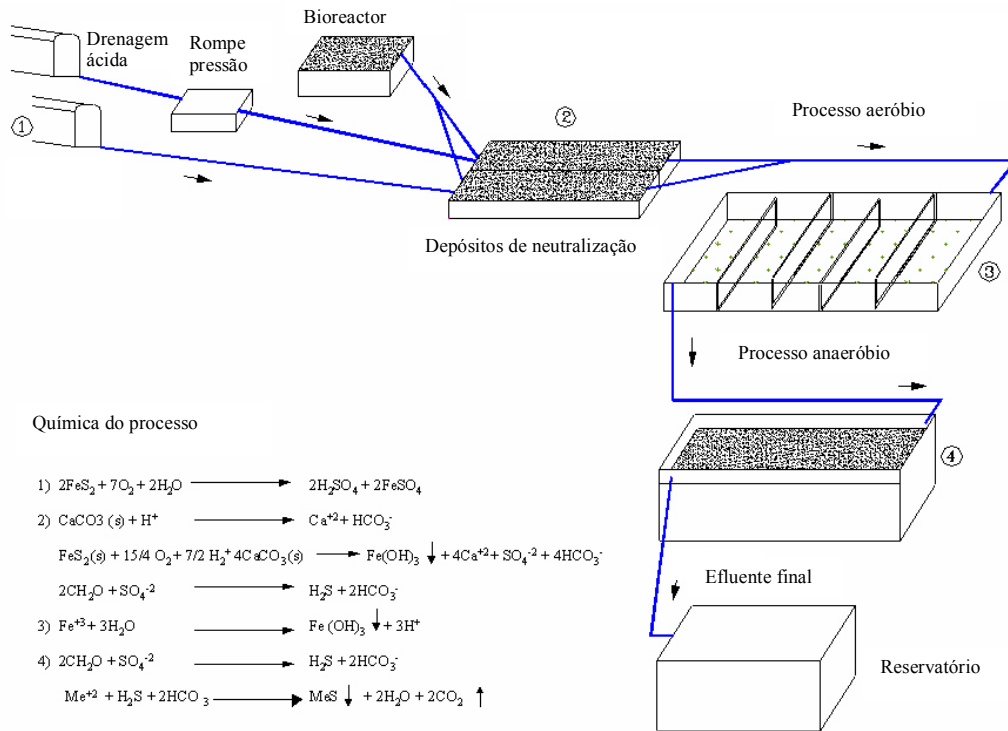


Figura 11 – Tratamento de águas ácidas mediante o sistema passivo

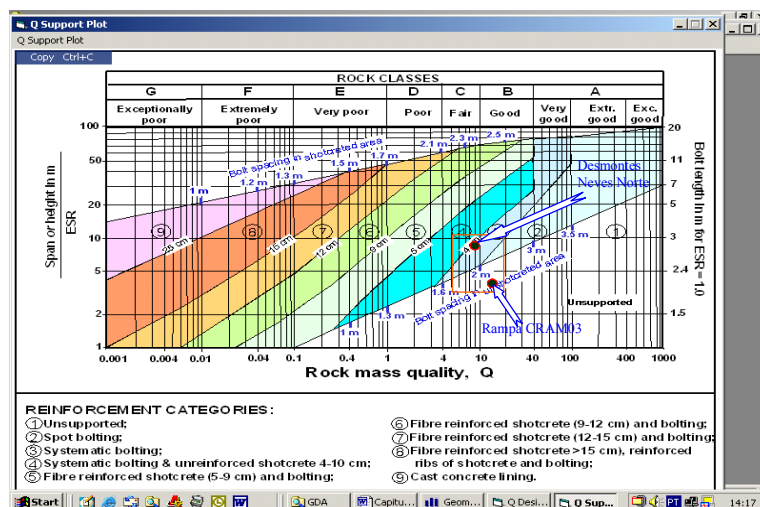


Figura 12 – Determinação da medida correctiva com o ábaco de Barton e Grimstad

4. CONCLUSÕES

O ambiente subterrâneo, como o ambiente exterior, é um sistema dinâmico de interacção mútua e integral dos quatro importantes domínios: atmosfera subterrânea, água subterrânea, rocha e o componente biológico (homem).

Face aos crescentes avanços da engenharia ambiental no sentido do desenvolvimento sustentável, o ambiente subterrâneo não pode ser uma excepção, porquanto a engenharia ambiental subterrânea desenvolvida mostra a aplicabilidade dos princípios, conceitos, processos e sistemas de gestão contemporâneos.

São válidos os modelos matemáticos, técnicas e sistemas de gestão desenvolvidos para avaliação do impacto ambiental relacionado com factores ambientais de: temperatura; gases tóxicos; poeiras; velocidade e caudal do ar; ruído; explosão e incêndio; iluminação e radiação; quantidade e qualidade das águas subterrâneas e a instabilidade e desprendimento de rochas.

A gestão ambiental subterrânea é aplicável a explorações subterrâneas em operação e para projectos novos.

Para a gestão do ambiente subterrâneo são aplicáveis os sistemas de gestão ambiental (EMS) ISO 14001 e o sistema de gestão integrado de ambiente, saúde, segurança (EHS).

7. BIBLIOGRAFIA

DINIS DA GAMA, CARLOS (2000), "Geotecnia Ambiental – Perspectivas e Aplicações", Revista Geotecnia n.º 90, Lisboa, Portugal.

FERNÁNDEZ RUBIO, R., et al., (1988). "Mining-Hydrological characteristics of the Underground Copper Mine of Neves-Corvo, Portugal". Third International Mine Water Congress. Melbourne, Australia.

NAVARRO TORRES, V. et al. 2005. "Engenharia Ambiental Subterrânea e Aplicações". Roberto C. Villas Bôas (Ed.), CETEM/CNPq/CYTED-XIII, 550 p., ISBN 85-7227-210-0, 2005.