

## Avaliação das condições ambientais na mineração em subsolo

Paul Cézarne Pinto

Eng. Minas, Mestrando - PPGEM - UFRGS - Porto Alegre, RS, Brasil

E-mail: paul.cezarne@ufrgs.br

### Resumo

A avaliação das condições ambientais, na mineração, é um fator de extrema importância para a higiene e segurança dos trabalhadores. Dentro desse contexto, a disponibilidade de ar fresco em subsolo se destaca como o principal parâmetro de controle, tendo influência direta nos demais parâmetros ambientais. Atualmente, as Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego impõem limites cada vez mais rígidos de controle, sendo necessária a adequação das empresas a essas novas condições. Esse trabalho tem por finalidade abordar os principais parâmetros de controle no ambiente de mina: vazão volumétrica, temperatura, umidade, gases e poeira. Foram coletados dados de vazão, temperatura e gases nas frentes de lavra, seguindo-se os procedimentos estabelecidos pelas respectivas normas regulamentadoras. Constatou-se que a vazão volumétrica tem influência direta nos demais parâmetros de controle. As galerias com ventilação insuficiente apresentaram altos índices de temperatura e contaminantes. O equipamento sugerido pela NR-15 em conjunto com a Fundacentro (árvore de termômetros) é indicado apenas para medidas onde o posicionamento do equipamento não interfira no ciclo de trabalho. Outra constatação é que os intervalos sugeridos pela NR-15, para as medidas de concentração de gases, em muitas situações, são inadequados para caracterizar, de maneira efetiva, o ambiente de trabalho. Os aspectos ambientais devem ser tratados e analisados sempre de forma conjunta, pois um parâmetro influencia os demais. O controle das condições do ambiente de trabalho proporciona melhores condições de higiene e segurança aos trabalhadores, contribuindo, de forma significativa, na produtividade e, conseqüentemente, nos custos operacionais da lavra.

**Palavras-chave:** ventilação, gases, temperatura e lavra subterrânea.

### Abstract

*Underground mine atmosphere plays an important role in the health and safety of miners. Fresh air flow is the main parameter to be controlled, due to its influence on the remaining ones, such as air temperature, gas concentration and particulate dispersement (dust). The Brazilian occupational safety and health agency recently established rigid limits for these parameters, forcing companies to adapt to new rules. These studies present an analysis on the main mine atmosphere parameters in an underground coal mine. The atmosphere monitoring included measurements in air flow, temperature and humidity, gases and dust. Entries and rooms with insufficient air flow have high temperature and high gas concentrations. Also, the equipment suggested by the norm for taking temperature readings is inadequate (a tree of thermometers) as it interferes with the mining cycle. Additionally, the reading time interval recommended by the norm is insufficient. It should be monitored simultaneously, as there is a clear interference between their results. An improvement in mining atmosphere impacts positively the health, safety and productivity at the mine face.*

**Keywords:** ventilation, gas, temperature and underground mining.

## 1. Introdução

A avaliação das condições ambientais, na mineração, é um fator de extrema importância para a higiene e segurança dos trabalhadores. Atualmente, as Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego impõem limites cada vez mais rígidos de controle, sendo necessária a adequação das empresas a essas novas condições. Esse trabalho tem por finalidade abordar os principais parâmetros de controle no ambiente de mina: vazão, temperatura e umidade, gases e particulados (pó de mina).

Nesse trabalho, apresentam-se dados coletados em uma mina subterrânea de carvão, de acordo com as normas vigentes, e uma discussão sobre as metodologias impostas, no que diz respeito a sua aplicabilidade e adequação às condições de mineração em subsolo. Outro ponto abordado diz respeito aos equipamentos de amostragem utilizados nas coletas, bem como a correta seleção dos locais de amostragem.

O controle dos aspectos ambientais na mineração não pode ser visto como a coleta de valores de parâmetros individuais. Os parâmetros de controle estão intimamente ligados, sendo necessária uma visão conjunta dos mesmos. Por exemplo, uma vazão volumétrica inadequada nas frentes de lavra acarreta, em altas temperaturas, concentrações de gases e particulados. Assim, não basta analisarmos, individualmente, cada parâmetro, devemos analisar a causa dos valores medidos e suas consequências nos demais parâmetros de controle.

## 2. Vazão volumétrica

A vazão volumétrica é o parâmetro principal no dimensionamento e controle de um circuito de ventilação, tendo influência direta nos demais parâmetros. O seu controle tem como objetivos principais:

- Verificar se as necessidades de ar estão sendo supridas.
- Diluição dos gases oriundos da jazida e do desmonte de rochas com uso de explosivos.

- Atenuar a sensação térmica nos painéis de lavra.

A vazão volumétrica é dada em  $m^3/s$  e, para determiná-la, utilizamos:

$$Q = V \times A$$

onde: Q é a vazão volumétrica.

V é o perfil de velocidades na galeria.

A é a área da galeria.

### 2.1 Metodologia para determinação do perfil de velocidades

A determinação do perfil de velocidades em um ponto é feita a partir do tipo de anemômetro disponível. Os anemômetros mais utilizados, nas medidas em subsolo, são os anemômetros de pás.

Os anemômetros podem ser de dois tipos: integrador e não integrador. Para um anemômetro integrador (*Skilltech*® 100 mm Modelo AV6, p.ex.), percorre-se a seção da galeria conforme a Figura 1a. É importante que o tempo de medida não seja inferior a 2 minutos. Esse procedimento evita que o movimento do operador interfira nos valores de velocidades medidos. Se a mina dispõe de um anemômetro não integrador (*ICEL*® *Gubintec* AN10, p.ex.), o método de medida

recomendado é a divisão da seção da galeria em retângulos imaginários de mesma área. Nesse caso, a velocidade do ar na seção é a média aritmética dos valores de velocidade medidos (Figura 1b).

Na seleção de um anemômetro, deve-se optar, preferencialmente, pelos anemômetros de pás, visto que os termo-anemômetros sofrem grande influência das condições de umidade do ar e, por vezes, não registram valores adequados de velocidade do fluxo (Hartman, 1991).

Para um controle adequado do balanço da ventilação, devem-se posicionar pontos de medida no circuito principal, dividindo-o em seguimentos. Assim pode-se determinar as fugas existentes em cada trecho do circuito, bem como a perda de carga associada. Outra medida importante é medir-se a vazão volumétrica na entrada e saída da ventilação nos painéis em lavra, verificando-se, assim, a possibilidade de recirculação de ar dentro do painel.

A NR-22 estabelece os parâmetros para o dimensionamento das necessidades de vazão, sendo o mesmo raciocínio implementado para o dimensionamento do circuito principal de ventilação utilizado para os ventiladores de frente de serviço.

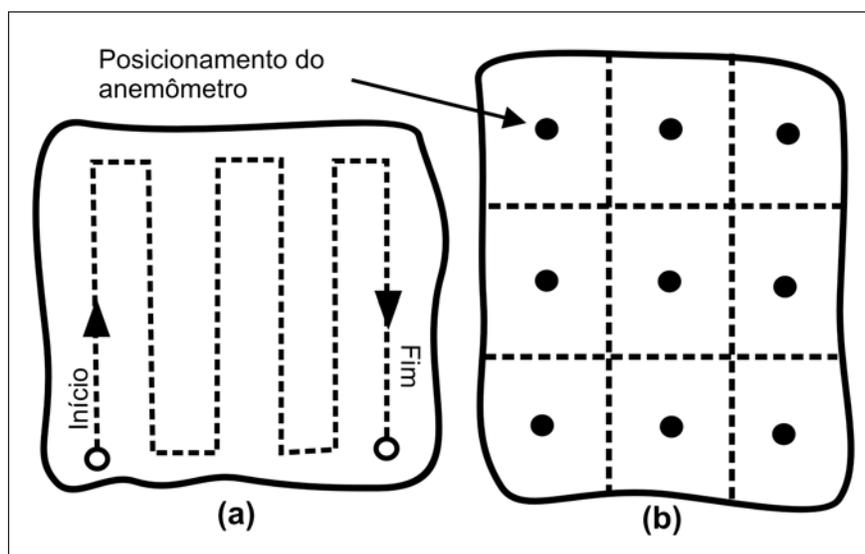


Figura 1 - Determinação do perfil de velocidades (a) para anemômetro integrador e (b) para anemômetro não integrador. (Hartman, 1991).

### 3. Temperatura e umidade

Na avaliação da exposição ao calor a que os trabalhadores estão expostos, no Brasil, adota-se o Índice IBUTG. Esse índice foi desenvolvido nos EUA para as condições de treinamento militar, tendo sido, posteriormente, normatizado pela ISO 7243. Esse índice foi regulamentado pela Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego, NR-15, em seu Anexo 3, na portaria nº. 3.214 de 8 de junho de 1978. Para a sua aplicação, são necessárias medidas de temperatura de bulbo seco, bulbo úmido natural e temperatura de globo.

#### 3.1 Metodologia para avaliação de ambientes quentes

Atualmente, a metodologia nacional mais utilizada para a avaliação de ambientes quentes é a NHT 01 C/E da Fundacentro, estabelecida em 1985, que define os procedimentos básicos a serem seguidos para a obtenção do índice IBUTG (Netto, 2003). Essa metodologia define a utilização da chamada árvore de termômetros (*hygro-therm* modelo CTG 5164, p.ex.).

As avaliações devem ser feitas de forma a cobrir todo o ciclo de trabalho, caracterizando cada situação de exposição do trabalhador. As leituras de temperatura devem ser iniciadas após 25 minutos de estabilização do conjunto com o ambiente, sendo realizadas, no mínimo, três leituras. As leituras obtidas não devem diferir em  $\pm 0,1$  °C, sendo realizadas tantas leituras quanto for necessário, para que as diferenças entre as três últimas leituras fiquem dentro desse intervalo. O valor de temperatura é a média aritmética dessas últimas três leituras.

Outro parâmetro a ser medido é o tempo de permanência do trabalhador em cada situação térmica. Esse parâmetro é obtido pela da média aritmética de no mínimo três cronometragens do ciclo de trabalho. Deve-se, também, estimar o calor produzido pelo metabolismo do trabalhador (M) para o tipo de atividade

exercida em seu ciclo de trabalho. Quanto ao local de amostragem, deve-se posicionar o equipamento a altura da parte mais atingida no trabalhador nos 60 minutos mais desfavoráveis do ciclo de trabalho.

Utilizando-se a metodologia de avaliação de ambientes quentes anteriormente descrita, foram realizadas duas campanhas de amostragem em dois painéis em lavra (painéis 1 e 2) em uma mina de carvão em subsolo localizada em Santa Catarina. No painel 1, são utilizados equipamentos elétricos. No painel 2, são utilizados carregadores de pá a diesel. O ponto escolhido para a amostragem foi a saída da ventilação do painel. A escolha desse ponto se deu pela impossibilidade de realizarem-se medidas de temperatura junto às frentes de lavra e por se tratar de um ponto onde, após o ar se aquecer em todas as frentes de serviço, deixa o painel. Os valores de temperatura medidos estão dispostos nas Tabelas 1 e 2. Os dados indicam valores de temperatura mais elevados no painel 2.

#### 3.2 Resultados obtidos nos levantamentos de temperatura

Para a determinação do IBUTG, de cada situação, foi considerado, como taxa de metabolismo, para o tipo de ativi-

dade, o valor de 450 kcal/h, referente a um tipo de trabalho pesado. Com isso, os valores obtidos são:

##### Painel 1

$IBUTG = 0,7t_{bn} + 0,3t_g$  (ambientes sem carga solar)

$IBUTG = 0,7(26,3) + 0,3(26,3)$

$IBUTG = 26,39$

##### Painel 2

$IBUTG = 0,7t_{bn} + 0,3t_g$  (ambientes sem carga solar)

$IBUTG = 0,7(30,8) + 0,3(31,8)$

$IBUTG = 31,1$

onde:  $t_{bn}$  = temperatura de bulbo úmido natural e  $t_g$  = temperatura de globo.

Comparando os resultados obtidos com os valores estabelecidos pela NR-15, verificamos que, nas duas situações, os valores encontrados excedem o limite máximo permitido para essa situação, que é 25,5. Esses resultados podem ser explicados, primeiramente, pela vazão inadequada que chega ao painel 1, onde foi medido, na entrada do painel, um valor menor que 700 m<sup>3</sup>/min, muito abaixo das suas necessidades de vazão. No caso do painel 2, as altas temperaturas se devem à operação com carregadores

Tabela 1 - Levantamento de temperatura no painel 1.

Temp. Bulbo seco (°C)	Temp. Bulbo úmido (°C)	Temp. Globo (°C)
26,8	26,3	26,3
26,8	26,3	26,3
26,8	26,3	26,3

Tabela 2 - Levantamento de temperatura no painel 2.

Temp. Bulbo seco (°C)	Temp. Bulbo úmido (°C)	Temp. Globo (°C)
32,5	30,8	31,8
32,5	30,8	31,8
32,5	30,8	31,8

de pás, os quais possuem motores que liberam grande quantidade de calor. Esse calor, associado à ventilação de frente insuficiente (ventilação dentro da galeria de trabalho), conduz a uma situação inadequada. Portanto somente com vazão maior se poderia reduzir os níveis de temperatura e proporcionar maior conforto térmico aos trabalhadores.

Outro aspecto observado, é que os valores medidos não refletem a temperatura real a que os trabalhadores estão sujeitos. Isso se deve à impossibilidade de se instalar o equipamento descrito pela NHT 01 C/E nas frentes de lavra. A árvore de termômetros é muito grande e, por isso, atrapalha a movimentação dos equipamentos de carregamento dentro da galeria. Além desse fato, o tempo de espera de 25 minutos, para a estabilização dos termômetros, por muitas vezes, acarreta a perda do acompanhamento de boa parte do ciclo de carregamento.

O equipamento sugerido pela NR-15, em conjunto com a Fundacentro (Figura 2), é inadequado para medidas nas frentes de lavra. Os conjuntos de termômetros digitais para a obtenção o índice IBUTG, também, são desaconselhados, pois sofrem grande influência das condições do ambiente de mina (umidade, principalmente).

A árvore de termômetros é indicada para medidas onde o posicionamento do equipamento não interfira no ciclo de trabalho. Para medidas nas frentes de serviço, aconselha-se o uso de um psicrômetro (*Bacharach* modelo HLD 5203 ASAHI, p.ex.), que é um equipamento constituído de um termômetro de bulbo seco e outro de bulbo úmido. Esse conjunto de termômetros fornece o índice de Temperatura Efetiva nas frentes de lavra, onde, com ábacos, correlacionam-se as medidas de temperatura de bulbo seco e úmido para a obtenção dos valores de temperatura no local.

Outro dado que se pode inferir, a partir das medidas de bulbo seco e úmido, é a umidade nas frentes de lavra. Para isso, basta consultar uma carta psicrométrica (tipo Carrier, p.ex.), entrando com os valores medidos, para se obter a umidade relativa no local. O índice de Temperatura Efetiva empregado na avaliação de ambientes quentes, antes da normatização do índice IBUTG, é o mais indicado para as medidas nas frentes de lavra. Presentemente, esse índice é utilizado pela NR-17, nas avaliações de ergonomia.

## 4. Gases e pó de mina

Outra etapa, na caracterização do ambiente de trabalho, é a realização de medidas de gases nocivos aos trabalhadores. Para isso, existem, basicamente, duas famílias de equipamentos para detecção de gases: manuais (bomba *Draeger*, p.ex.) e os digitais. Os equipamentos digitais têm a vantagem de poder combinar diversos sensores, efetuando-se medidas de diferentes gases de maneira simultânea.

A NR-15 não impõe um determinado tipo de equipamento a ser utilizado, apenas regulamenta um procedimento de medi-

da. Utilizando-se o estabelecido pela norma, foram selecionados cinco gases a serem medidos: CO, H<sub>2</sub>S, NO, NO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, produzidos pela utilização de explosivos e motores a combustão. Foi utilizado o sistema de detecção instantânea para cinco gases da *Industrial Scientific*<sup>®</sup>, modelo ITX.

### 4.1 Procedimentos de medidas

Primeiramente, foram adotadas como procedimentos de medida, as regras estabelecidas na NR-15, que definem que sejam coletadas 10 amostras em cada ponto de medida com intervalo de 20 minutos entre cada amostragem. A NR-15, também, define que o valor de concentração de um determinado contaminante em um ponto seja dado pela média aritmética das leituras efetuadas e que os valores de concentração amostrados não poderão ultrapassar um determinado valor-limite. O valor-limite é definido multiplicando-se o limite estabelecido para um determinado gás pelo fator de desvio definido para a faixa de medida utilizada.

Observou-se que os intervalos de medida sugeridos pela NR-15, em muitas situações, são inadequados para caracterizar, de maneira efetiva, o ambiente de trabalho. No caso estudado, o tempo de medida (10 amostras espaçadas de 20 minutos,

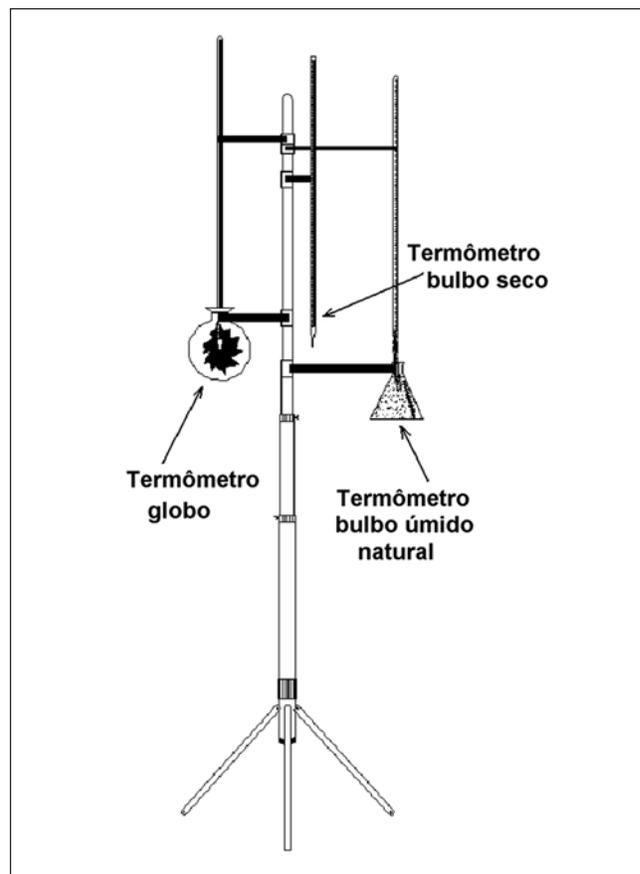


Figura 2 - Conjunto para determinação do índice IBUTG (NHT 01 C/E, 1985).

ou seja, 200 minutos) é, demasiadamente, longo para o tempo de ciclo dos equipamentos, que em média tem 40 minutos.

No painel em lavra, foram escolhidos dois pontos de medida de gases (Figura 3), um deles com boa ventilação de frente e outro com ventilação ruim. O ponto de medida 1 caracterizou-se pela união de dois locais de medida. Ocorreram detonações na frente de lavra e em um travessão. O carregador se posicionou em dois pontos. Primeiramente, posicionou-se na galeria paralela à detonação para a limpeza do material desmontado no travessão arrombado e, posteriormente, na galeria. O posicionamento do equipamento de medida acompanhou o operador do equipamento. O carregador posicionou-se para a limpeza da galeria após decorridos, aproximadamente, 10 minutos do desmonte, encontrando a galeria sem a presença da fumaça oriunda da mesma. Além disso, o fato de existirem dois ventiladores de frente (um no travessão e outro na entrada da galeria) contribuiu para uma limpeza rápida dos gases, fato esse demonstrado pelas leituras dos gases (Figura 4).

O ponto de medida 2 caracterizou-se por uma ventilação de frente insuficiente. Os gases da detonação não haviam se dissipado completamente quando o carregador começou o carregamento do material desmontado e o ventilador de frente não estava em uma posição adequada. A saída do duto condutor de ar estava muito afastada da frente de lavra.

A Figura 4 apresenta um gráfico comparativo com as concentrações de CO medidas nos dois casos, no decorrer do período de amostragem. Esse gás foi destacado devido aos altos valores amostrados e pelo seu maior grau de insalubridade comparado com os demais gases medidos pelo aparelho.

Os resultados obtidos, na comparação dos dados amostrados, demonstram que a galeria com ventilação de frente insuficiente apresenta patamares de concentração de gases muito mais elevados, como era esperado. Novamente ressalta-se a influência da vazão volumétrica nos demais parâmetros de qualidade do ambiente de trabalho.

Nessa situação, além de aumentar-se a vazão nas frentes de trabalho, outro procedimento importante deve ser a lavagem da pilha de material desmontado. A instalação de esguichos para molhar a frente de lavra elimina os gases aderidos nas superfícies do material, bem como abate o material particulado presente no ar.

Os níveis de concentração de gases medidos no painel 2 (carregadores

de pá a diesel) foram muito inferiores aos medidos no painel 1 (equipamentos elétricos). Isto se deve à boa ventilação de frente encontrada, ou seja, apesar de o painel 2 operar com equipamentos a diesel, o dimensionamento adequado da ventilação elimina o risco de encontramos níveis de contaminantes acima do definido nas normas.

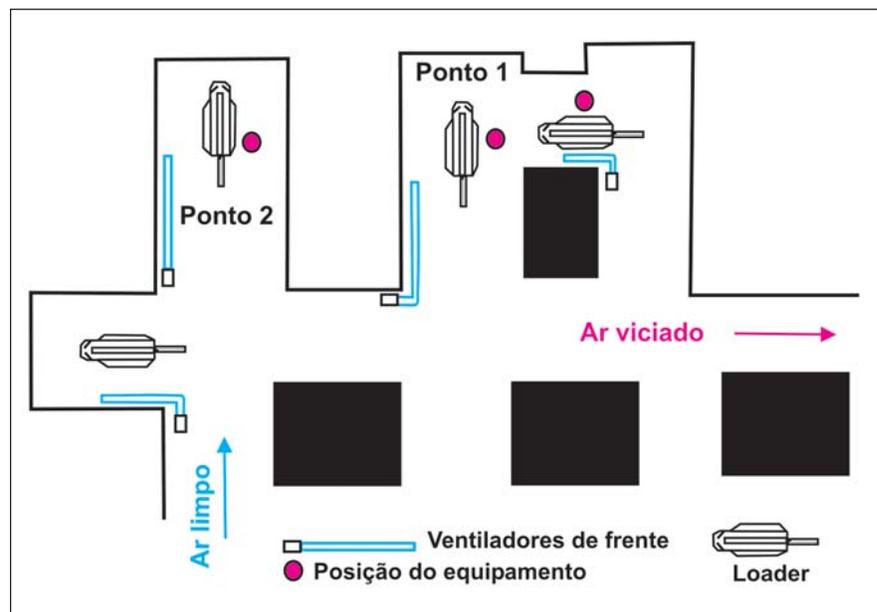


Figura 3 - Pontos de amostragem de gases, painel 1.

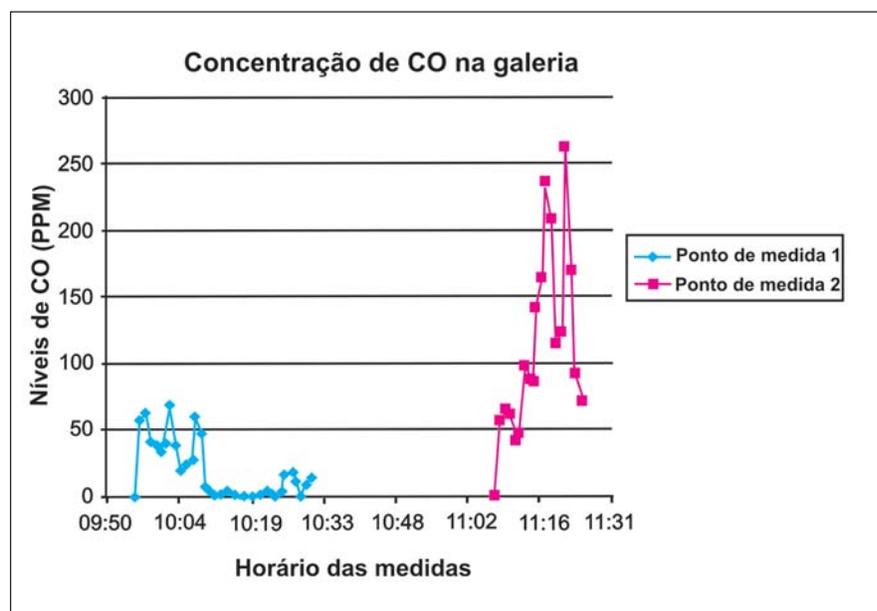


Figura 4 - Níveis de CO na galeria.

## 5. Conclusões

A vazão volumétrica de ar fresco é o principal parâmetro de controle em um circuito de ventilação, influenciando, diretamente, os demais parâmetros de qualidade do ambiente. Os altos valores de temperatura, concentração de gases e particulados são reflexo do dimensionamento inadequado da ventilação, tanto auxiliar, como principal. Os aspectos ambientais devem ser tratados e analisados sempre de forma conjunta, pois um parâmetro influencia os demais.

As normas regulamentadoras, muitas vezes, não são adequadas aos trabalhos de mina, necessitando de adaptações e melhorias em seus procedimentos. Quando isso ocorrer, deve-se estabelecer um procedimento de controle e coleta de dados adaptado à situação de trabalho e ao método de lavra empregado, respeitando os limites estabelecidos.

## 6. Agradecimentos

Os recursos dessa pesquisa foram providos pelo CNPq e pela Finep (CT ENERGIA), aos quais agradecemos.

## 7. Referências bibliográficas

- HARTMAN, H. L. *Mine ventilation and air conditioning*. USA: Wiley-Interscience Publication, 1991. 721p.
- NETTO, A. L. SOBES - Sociedade Brasileira de Engenharia de Segurança, Artigo técnico - Exposição ao Calor 1º Parte, Arquivo disponível em <http://www.sobes.org.br>, 2003. 2p.
- NR-22, Segurança e saúde ocupacional na mineração (122.000-4), Brasil: Ministério do Trabalho e da Previdência Social Secretaria Nacional do Trabalho, 2002. 37p.
- NR-15, Atividades e operações insalubres (115.000-6), Brasil: Ministério do Trabalho e da Previdência Social, Secretaria Nacional do Trabalho, 2002. 99p.

Artigo recebido em 28/09/2005 e aprovado em 19/06/2006.

\*\*\*\*\*

# REM - Revista Escola de Minas 70 anos divulgando CIÊNCIA.

\*\*\*\*\*

## REM: a mais antiga revista técnico-científica do setor mineiro-metalúrgico.

\*\*\*\*\*

[www.rem.com.br](http://www.rem.com.br)

\*\*\*\*\*