


Análise do sistema de ventilação de uma carbonífera brasileira

Hugo Kamigashima Kohmann ¹
Anna Luíza Marques Ayres da Silva ^{1*} 

Resumo

Na mineração subterrânea a ventilação é um fator crítico. Uma ventilação inadequada ou insuficiente compromete a saúde e a segurança dos trabalhadores, principalmente nas minas de carvão que precisam lidar normalmente com gases inflamáveis e poeira explosiva. Esse trabalho tem como objetivo analisar o sistema de ventilação atual de uma carbonífera no sul do Brasil, através da medição da velocidade, cálculo da vazão de ar em suas galerias e simulação via modelagem em um software de ventilação. Foi feita uma visita para a realização dos trabalhos de medição e o levantamento das características essenciais para a construção do modelo. Os resultados dos parâmetros medidos e simulados permitem concluir que é possível utilizar o modelo e adotar a metodologia proposta com uma precisão satisfatória. Conclui-se também que a empresa atende às exigências regulatórias devido ao acompanhamento periódico e manutenção de uma vazão superior à necessária. Ainda assim, poderia haver benefícios com uma modelagem do circuito de ventilação que pudesse otimizá-lo, segundo a evolução da lavra. Contudo, para isso, recomendam-se mais pontos de amostragem, assim como a determinação da perda de carga entre trechos.

Palavras-chave: Ventilação de mina; Qualidade do ar de mina; Simulação de ventilação.

Analysis of the ventilation system of a Brazilian underground coal mine

Abstract

Ventilation in underground mining is paramount for a good mine operation. Inadequate or insufficient ventilation compromises workers' health and safety, especially in coal mining that normally must deal with flammable gases and coal dust that can cause explosions. This paper aims to analyse the current ventilation system of an underground coal mine in southern Brazil by measuring the air velocity, determining the airflow in its airways, and simulating the mine ventilation system using a ventilation software. A visit was made to the coal mine to carry out the measurements and others essential characteristics of the mine to construct the model. The analysis of the results of the measured and simulated parameters allows it to be possible to use the model and adopt the proposed methodology with satisfactory accuracy. It is also concluded that the company meets the requirements of regulatory standards due to the periodic monitoring and because they provide a higher airflow than necessary. Nevertheless, there could be benefits with a ventilation model so that the ventilation could be optimized according to the mine's evolution. However, for this, more air velocities sampling points are advisable, as well as the determination of the head loss between branches.

Keywords: Mine ventilation; Mine air quality; Ventilation simulation.

1 Introdução

A lavra subterrânea no Brasil tem apresentado importância crescente nos últimos anos. Segundo a Agência Nacional de Mineração [1], das minas subterrâneas em operação, 29 são de substâncias metálicas, principalmente de ouro. Há importantes projetos em fase de implantação como, por exemplo, o da Nexa em Aripuanã (Mato Grosso) para a extração de minério de zinco, cobre e chumbo [2], assim

como relevantes projetos de expansão, como o projeto CDS da AngloGold Ashanti em Santa Bárbara (Minas Gerais) e o de aprofundamento da mina Pilar da Mineração Caraíba em Jaguarari (Bahia) [3].

Apesar de a ventilação ser um elemento imprescindível para as operações subterrâneas, ela é muitas vezes subestimada e o *layout* da mina acaba sendo desenhado considerando

¹Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP, Brasil.

*Autor correspondente: alayres@usp.br



apenas a produção e a sua segurança estrutural. Em outros casos clássicos, pode-se perceber que a ventilação não foi incorporada adequadamente ao projeto da mina, sendo os poços principais dimensionados apenas levando em consideração o içamento dos equipamentos, ou então a infraestrutura de ventilação determinada para o estágio inicial de lavra. Segundo McPherson [4], a correção dessas omissões se tornam cada vez mais difíceis e caras com o aumento da profundidade, podendo causar situações graves que comprometem a continuidade da lavra e/ou a segurança em subsolo.

Particularmente para a extração de carvão, há a necessidade de um cuidado maior com a ventilação devido à presença frequente de gás metano e das poeiras de carvão. No passado houve diversos desastres. Um caso notável foi o de Benxihu Colliery na China, em 1942, que foi considerado um dos piores desastres na mineração de carvão já registrados, onde o gás e a poeira causaram uma explosão, levando à fatalidade 1.549 pessoas.

Atualmente, devido à maior automatização dos processos e máquinas, os acidentes não causam tantas vítimas, apesar de ainda ocorrerem [5]. Em abril de 2020, houve uma explosão acidental na mina de carvão em Cucunubá na Colômbia, que deixou 11 mortos e 4 feridos [6]. Em julho do mesmo ano ocorreu um acidente na mina colombiana de El Cedro, também causado pela explosão acidental provavelmente associada ao gás metano [7]. Dados os perigos que ainda estão presentes na atualidade, é de grande importância não só planejar um sistema de ventilação, mas também acompanhá-lo e manter o seu monitoramento frequente para garantir a segurança e as condições de trabalho adequadas. Com isso em mente, um método para alcançar esses objetivos é a modelagem do sistema atual e futuro através de *softwares* de ventilação, para saber a vazão teórica ideal de ar nas vias subterrâneas e prever situações adversas e futuras. Embora tenha o uso consagrado na indústria mineral, são muitas as minas no país que ainda não utilizam tais ferramentas.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo analisar o sistema de ventilação atual de uma mina subterrânea de carvão no sul do Brasil através da medição da velocidade do ar e das áreas das seções transversais das galerias para o cálculo da vazão de ar, em paralelo com a realização de uma simulação via a modelagem da mina em um *software* de ventilação. Objetiva também avaliar a aderência entre o modelo e os dados medidos e, se adequada, fazer simulações para que estratégias sejam traçadas visando o aprimoramento da distribuição das vazões de ar na mina.

1.2 Ventilação mecânica e critérios legais

Tanto o maciço rochoso quanto a operação de extração mineral são responsáveis pela liberação de contaminantes na atmosfera subterrânea. O intuito da ventilação é não

só garantir uma quantidade suficiente de oxigênio (no mínimo 19% em volume do ar segundo os critérios legais) para permitir o trabalho de pessoas e máquinas (no caso de máquinas a combustão) mas também controlar, através da diluição, possíveis condições perigosas ou insalubres, como poeira e gases explosivos, calor excessivo, entre outros. Para o caso específico de uma carbonífera, a Norma Reguladora de Mineração 06, NRM-06 [8] e o item 24 da Norma Regulamentadora 22, NR-22 [9], que tratam da ventilação em minas subterrâneas, possuem alguns itens específicos ou então mais rígidos devido ao risco de explosão. A NRM-06, por exemplo, no item 6.2.4, trata da vazão de ar necessária em minas de carvão. Com relação à velocidade do ar, as normas exigem que a velocidade seja superior a 0,2 m/s e inferior a 5,0 m/s nos locais onde há circulação de pessoas (em minas não carboníferas, esse limite pode ser aumentado até 8,0 m/s).

A ventilação pode ser natural ou mecânica. A ventilação natural se dá pela diferença entre a elevação da superfície e do interior da mina, e pela diferença na temperatura do ar dentro e fora da mina. Às vezes esse ganho de energia é suficiente para manter um fluxo de ar contínuo e induzido. A direção da ventilação natural é raramente a mesma, tendendo a variar principalmente com as estações do ano, mas podendo, em alguns casos raros, variar também diariamente. Portanto, por ser instável, esse sistema de ventilação não deve ser único, sendo indispensável a ventilação mecânica para suprir as necessidades mineiras. Segundo McPherson [4], “O principal método do controle das condições subterrâneas acontece pela ventilação, que é suprida principalmente pelos ventiladores primários”.

1.3 Estimativa de perdas de carga

A fórmula geral para as perdas de carga pode ser descrita pela equação de Atkinson:

$$H_{pf} = \frac{k \cdot p \cdot L}{A^3} \cdot Q^2 \quad (1)$$

Onde:

H_{pf} = perda de carga por atrito (N.m⁻²);

k = fator de atrito (N.s².m⁻⁴ ou kg/m³);

p = perímetro da via subterrânea (m);

L = comprimento da via subterrânea (m);

A = área de seção da via subterrânea (m²);

Q = vazão de ar (m³.s⁻¹).

A Equação 1 descreve as perdas de carga devido ao atrito gerado na superfície das vias subterrâneas. Ainda há as perdas geradas pelo choque na mudança de direção das vias subterrâneas e pelo aumento ou diminuição da área de sua seção. Para a sua determinação é utilizado o “Leq” (comprimento equivalente) ao invés do “L”, isto é, estima-se um comprimento da via que seja equivalente à perda de carga por choque. Neste trabalho utilizaram-se os valores de Leq publicados por Hartman [10]. O fator de atrito “k” varia de acordo com a rugosidade ou tipo de revestimento, com a sinuosidade e com o grau de obstrução das vias. Idealmente

seu valor é obtido através da medição da perda de pressão entre pontos da mina, no entanto, caso não seja possível a medição, pode ser estimado através de tabelas de consulta [11].

2 Materiais e métodos

A metodologia consistiu na comparação entre os dados medidos e simulados para os parâmetros velocidade e vazão de ar. Foi feita uma visita à carbonífera para a realização dos trabalhos de medição e o levantamento das propriedades básicas da mina para a construção do modelo.

2.1 Coleta de dados no campo

Na visita foi possível levantar as características essenciais da mina, como seu método de lavra (Pilar e Salão) e o sistema de ventilação utilizado (composto por ventiladores principais, ventiladores auxiliares e porta de ventilação). A Figura 1 mostra o desenho simplificado do layout da ventilação da mina.

2.2 Cálculo de vazão mínima

Conforme as normas de ventilação constantes da NRM-06 e NR-22, a vazão mínima de ar fresco pode ser estimada levando em consideração o número de pessoas em subsolo e a potência dos equipamentos a diesel (Equação 2). Como a mina em questão utiliza exclusivamente equipamentos elétricos, a vazão mínima leva em conta apenas os funcionários em cada turno. Ao total são 148 funcionários que são

divididos em turnos, sendo que cada turno tem no máximo 38 funcionários.

$$Q = (q_1 \cdot n_1) + (q_2 \cdot n_2) \tag{2}$$

Onde:

Q = vazão de ar requerido ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$);

q_1 = quantidade de ar por pessoa por minuto ($= 6 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$);

n_1 = número máximo de pessoas no turno;

q_2 = quantidade de ar por cavalo-vapor de motor a diesel por minuto ($= 3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cv}^{-1}$);

n_2 = potência total dos motores a óleo diesel em operação em cavalo-vapor.

Portanto, a quantidade mínima de ar necessária é de $228 \text{ m}^3/\text{min}$ (ou $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$). Segundo a empresa, a vazão atual na entrada da mina é de cerca de $3000 \text{ m}^3/\text{min}$, mostrando que, a priori, os ventiladores teriam capacidade de suprir essa necessidade. Vale ressaltar que a vazão mínima precisa ser analisada para cada via especificamente.

2.3 Equipamentos de medição

Para a medição da velocidade de ar nas vias subterrâneas foi utilizado o anemômetro *vane* Kestrel 1000 (Figura 2). A vazão de ar foi calculada indiretamente a partir dos dados de velocidade (especificamente, a média das medições de velocidade em cada ponto de amostragem) e das áreas das seções transversais das vias da mina.

Na empresa há também o medidor de gases MSA modelo Altair 4X para a detecção e monitoramento semanal do gás sulfídrico, monóxido de carbono, oxigênio e metano em vários pontos da mina. A mina não emite quantidades

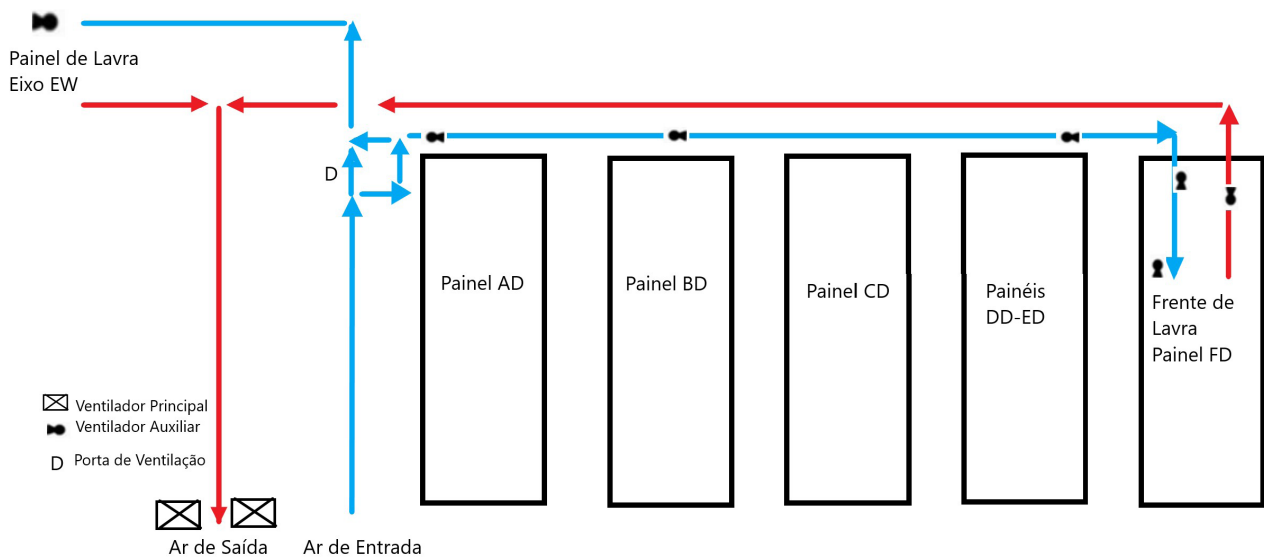


Figura 1. Desenho simplificado do layout da ventilação da mina.



Figura 2. Anemômetro disponibilizado pela empresa. Fonte: Elaboração própria com consentimento da empresa.

significativas de gases contaminantes. Segundo o histórico apresentado pela empresa, dificilmente há alguma detecção de gases contaminantes na mina e a concentração de oxigênio é mantida em torno de 20,9%.

2.4 Trabalhos de medição

Foram selecionados na mina quinze lugares para a realização dos trabalhos de medição de velocidade de ar. Em cada lugar foi feita a medição das velocidades utilizando-se os padrões apresentados na Figura 3. Cada padrão apresenta uma determinada configuração de pontos de amostragem para a medição das velocidades de ar. A configuração de pontos da secção transversal à esquerda na Figura 3 foi utilizada nas vias com transportador de correia, já a da direita nas demais.

Para a modelagem, as três principais vazões que foram consideradas são apresentadas na Tabela 1, referentes ao que foi medido durante a visita.

Nota-se que a soma da vazão do Painel FD e do Eixo EW deveria ser, teoricamente, igual à vazão da rampa principal (Figura 1). A diferença observada não significa que a medição foi insatisfatória ou que o equipamento não estava calibrado. É esperado que haja uma inconsistência devido ao regime de escoamento turbulento e à metodologia de medição empregada, já que a precisão do fluxo de ar depende igualmente das medições das áreas transversais das galerias e das medições de velocidade nos pontos fixos pré-estabelecidos (Figura 3) [4]. A Tabela 2 mostra as velocidades e vazões no ponto EW em diferentes configurações.

2.5 Modelagem em software

A modelagem foi realizada utilizando a versão de estudante do *software* Ventsim Lite, versão 5.2.8.5, e com

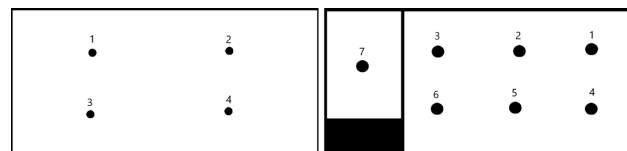


Figura 3. Pontos de medição de velocidade de duas seções diferentes de vias. Fonte: Disponibilizado pela empresa.

Tabela 1. Velocidades e vazões médias medidas

Localização	Área (m ²)	Velocidade média (m/s)	Vazão (m ³ /s)
Rampa primária	14,25	3,73	53,15
Painel FD	17,00	1,03	17,51
Eixo EW	17,40	1,91	33,23

Tabela 2. Velocidades e vazões médias medidas no ponto EW

Localização	Observação	Área (m ²)	Velocidade média (m/s)	Vazão (m ³ /s)
PV EW	Porta aberta e ventilador desligado	17,40	2,10	36,54
PV EW	Porta fechada e ventilador desligado	17,40	1,91	33,23
PV EW	Porta aberta e ventilador ligado	17,40	1,63	28,36

Fonte: Elaboração própria.

base no desenho elaborado utilizando software CAD que foi disponibilizado pela empresa. Por não haver equipamento disponível na mina para a medição da perda de pressão, recorreu-se à literatura para obter estimativas de valores para o fator de atrito “k”. Utilizaram-se os fatores “k” apresentados por McElroy apud Hartman et al. [11]. As curvas de performance dos ventiladores introduzidas no modelo foram fornecidas pela carbonífera.

Com o modelo construído (Figura 4), os ventiladores definidos e as estimativas do fator de atrito e das perdas de carga por choque (item 1.3), realizou-se a simulação. Os resultados obtidos se encontram na Tabela 3.

Em relação ao trecho EW, também conseguiu-se simular cenários com a porta aberta ou fechada e com o ventilador ligado ou desligado (Tabela 4).

3 Resultados e discussão

As Figuras 5 e 6 apresentam uma comparação entre os resultados obtidos através da simulação e das medições.

Com relação ao ponto da rampa primária, onde houve a maior diferença, parte disso está atrelado ao próprio erro da medição. Como dito anteriormente, a vazão da rampa primária deveria ser igual à soma da vazão no painel FD e no eixo EW. Entretanto, ao realizar essa soma, a diferença

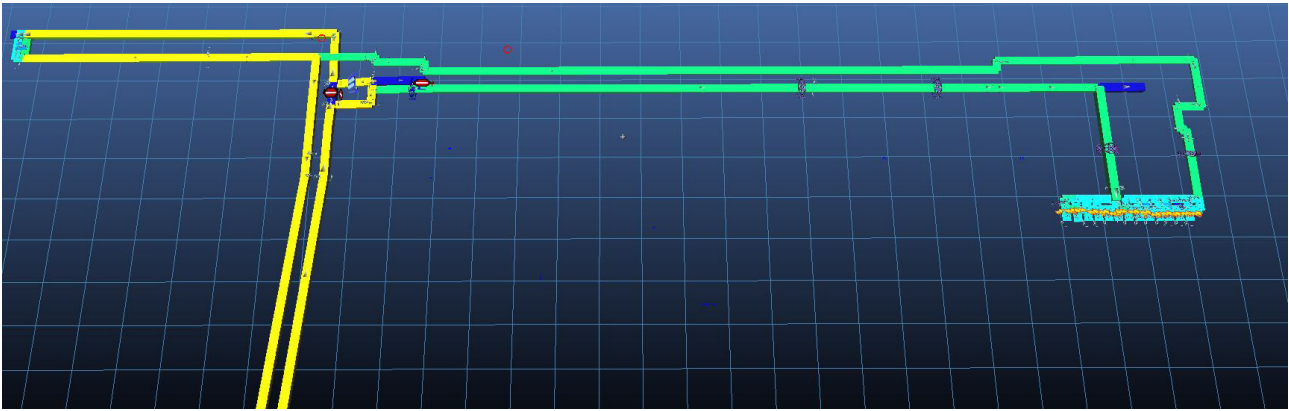


Figura 4. Modelo final criado.

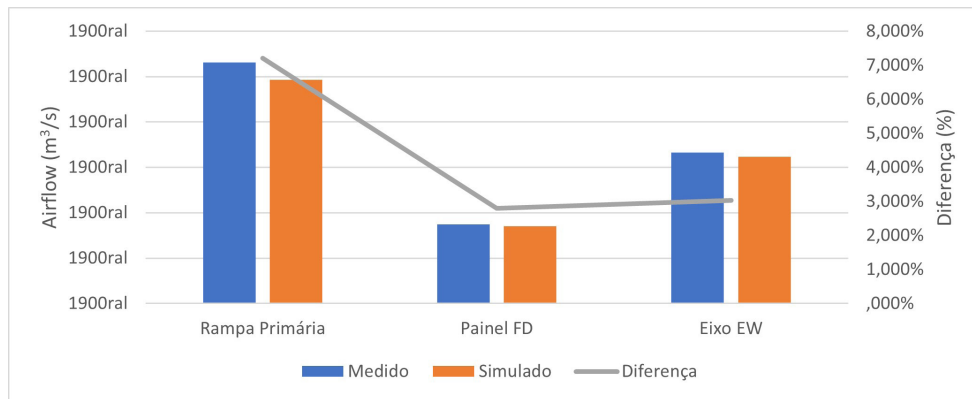


Figura 5. Comparação entre os dados medidos e simulados.

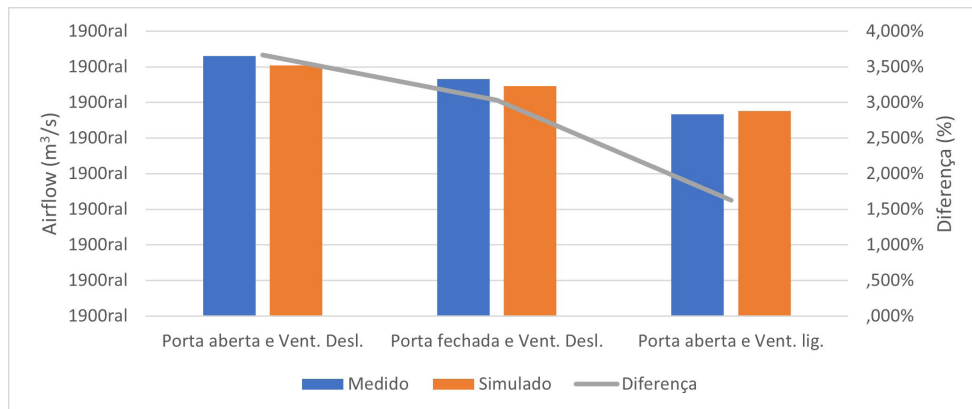


Figura 6. Comparação entre os dados medidos e simulados do ponto EW.

Tabela 3. Valores obtidos pela simulação

Localização	Área (m²)	Velocidade média (m/s)	Vazão (m³/s)
Rampa primária	14,25	3,46	49,31
Painel FD	17,00	1,00	17,00
Eixo EW	17,40	1,86	32,36

foi de cerca de 5% a menos. O erro do eixo EW foi menor, pois houve uma maior quantidade de cenários diferentes medidos.

Os resultados foram bastante satisfatórios. Observa-se que, para uma maior confiabilidade do modelo, seria necessário a medição de vazão em um maior número de cenários distintos. Além disso, certamente haveria uma

maior aderência do modelo ao sistema de ventilação real da carbonífera caso tivesse sido possível medir as perdas de pressão entre trechos da mina durante a visita.

Todos os valores estão dentro do estabelecido nas normas de ventilação, tanto em relação à vazão mínima (3,8 m³/s) quanto à velocidade mínima (0,2 m/s) e máxima (5,0 m/s) de ar nas galerias. Entretanto, como no painel FD se concentra o maior número de funcionários trabalhando (cerca de 2/3), o ideal seria que 2/3 da vazão se direcionasse a esse painel. Para inverter (ou melhorar) essa distribuição de fluxo de ar sem que haja a necessidade de aumentar o número de ventiladores nem seus custos operacionais, duas providências poderiam ser tomadas. Elas foram simuladas no modelo e são descritas nos itens a seguir.

É importante observar que tais providências levam em consideração apenas aspectos referentes à ventilação. Obviamente, para uma alteração efetiva na mina baseada em qualquer uma delas, também é necessário estudar com mais profundidade o impacto econômico, geológico e no planejamento de lavra, entre outros.

3.1 Diminuir as perdas por atrito e por choque no painel FD

Essa solução consiste em diminuir as perdas por atrito através de uma melhor manutenção das paredes e tetos, ou então em aumentar a área da seção, por exemplo, através do uso de vias paralelas. Nesse caso específico, como o método de lavra da mina é por Pilar e Salão, seria possível a abertura de vias bloqueadas, pelo menos no eixo principal, para que a resistência fosse menor, resultando em uma perda de carga menor e em uma vazão maior. Esse tipo de solução seria

a ideal, do ponto de vista da ventilação, pois aumentaria a vazão total de ar. A Tabela 5 mostra as vazões obtidas no modelo realizando algumas mudanças.

É possível verificar que a primeira solução (duplicar o eixo principal) traz o maior impacto tanto no quesito de maior vazão total (enquanto o efeito da solução alternativa é mínimo), quanto no de maior vazão no Painel FD. Como dito antes, por não precisar abrir novas galerias, seria uma alternativa ao uso de *boosters*, podendo diminuir o custo operacional.

3.2 Aumentar as perdas por atrito e por choque no eixo EW

Como o eixo EW possui um comprimento menor, as perdas por atrito e por choque também são menores e, portanto, a vazão neste trecho é maior.

No entanto, o ideal seria que essa vazão de ar fosse menor e que mais fluxo se direcionasse ao painel FD, onde a concentração de funcionários é maior, conforme já mencionado. Uma vez que o fluxo de ar se subdivide conforme as resistências das galerias, o aumento das perdas de carga no eixo EW resultaria no resultado desejado. Esse aumento de perda de carga poderia ser obtido de duas formas: através do alongamento do comprimento das vias, ou então com o uso de um regulador de vazão por exemplo.

A solução através do uso de um regulador não é a mais recomendada, do ponto de vista da ventilação, pois também diminuiria a vazão total de ar. A Tabela 6 apresenta as vazões obtidas através das mudanças propostas.

A extensão do eixo EW, teoricamente, é a solução mais efetiva das três apresentadas, pois não houve uma perda expressiva de vazão total (de 49,3 m³/s para 48,3 m³/s)

Tabela 4. Valores obtidos no trecho EW pela simulação

Localização	Observação	Área (m ²)	Velocidade média (m/s)	Vazão (m ³ /s)
PV EW	Porta aberta e ventilador desligado	17,40	2,02	35,15
PV EW	Porta fechada e ventilador desligado	17,40	1,86	32,36
PV EW	Porta aberta e ventilador ligado	17,40	1,66	28,88

Tabela 5. Vazões com mudanças propostas

Cenário	Localização	Velocidade média (m/s)	Vazão (m ³ /s)
Sem mudanças	Rampa primária	3,5	49,3
	Painel FD	1,0	17,0
	Eixo EW	1,9	32,3
Duplicar o eixo principal	Rampa primária	3,6	51,5
	Painel FD	1,3	21,7
	Eixo EW	1,7	29,8
Diminuição das perdas de atrito	Rampa primária	3,5	49,5
	Painel FD	1,0	17,4
	Eixo EW	1,8	32,1
Ambas as mudanças	Rampa primária	3,6	51,9
	Painel FD	1,6	22,6
	Eixo EW	1,7	29,3

Tabela 6. Vazões obtidas restringindo o fluxo do eixo EW

Cenário	Localização	Velocidade média (m/s)	Vazão (m ³ /s)
Sem mudanças	Rampa primária	3,5	49,3
	Painel FD	1,2	17,0
	Eixo EW	1,9	32,3
Extensão do Eixo EW (228 m)	Rampa primária	3,4	48,3
	Painel FD	2,2	30,7
	Eixo EW	1,0	17,6
Regulador de vazão (abertura de 40%)	Rampa primária	3,3	47,4
	Painel FD	1,3	17,9
	Eixo EW	1,7	29,5
Regulador de vazão (abertura de 20%)	Rampa primária	2,9	41,1
	Painel FD	1,4	20,1
	Eixo EW	1,2	21,0

enquanto o fluxo no painel FD aumentou consideravelmente (passou de 17,0 m³/s para 30,7 m³/s). O cenário de regulação de vazão com abertura de 20%, em contrapartida, foi o pior, pois a vazão total abaixou significativamente (de 49,3 m³/s para 41,1 m³/s) enquanto o ganho de vazão no painel FD foi baixo (de 17,0 m³/s para 20,1 m³/s). Já no cenário com abertura de 40%, a variação foi mínima tanto da vazão total quanto da vazão no painel FD.

4 Conclusão

Dado que as velocidades e as seções transversais foram medidas, as vazões determinadas, e que o modelo criado conseguiu simular o sistema de ventilação da mina com uma precisão satisfatória, o objetivo foi alcançado. A metodologia adotada também se mostrou apropriada.

Foi possível, através do modelo, fazer simulações e traçar estratégias para aprimorar a distribuição dos fluxos de ar da carbonífera.

Do ponto de vista da ventilação, a empresa atende às exigências das normas reguladoras brasileiras, pois há

o seu acompanhamento periódico e manutenção de uma vazão de ar maior do que a necessária na mina. Ademais, a concentração de oxigênio em subsolo se mantém em torno de 20,9%, superior à concentração mínima permitida nos locais onde pessoas transitam ou trabalham, que é de 19% em volume segundo a NR-22 e a NRM-06.

Ainda assim, poderia haver benefícios com uma modelagem do sistema de ventilação que pudesse otimizá-lo de acordo com a evolução da lavra. Entre os possíveis benefícios, o mais relevante para a empresa seria a diminuição da quantidade de *boosters* necessários, o que geraria em uma redução no custo operacional. Entretanto, para isso, mais pontos de amostragem das velocidades são recomendáveis, assim como a determinação da perda de carga entre trechos.

Agradecimentos

À Carbonífera e toda sua equipe por permitir a realização deste trabalho e pelo auxílio no levantamento dos dados de campo.

Referências

- 1 Brasil. Agência Nacional de Mineração. Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas. Brasília, DF: Agência Nacional de Mineração; 2020.
- 2 Oliveira T. Aripuanã. In-the-Mine. 2020;(84):14-16.
- 3 Oliveira T. Foco em desenvolvimento. In-the-Mine. 2021;(90):14.
- 4 McPherson MJ. Subsurface ventilation engineering. Berkeley: Mining Ventilation Services; 2018. 902 p.
- 5 Chen H, Qi H, Long R, Zhang M. Research on 10-year tendency of China coal mine accidents and the characteristics of human factors. Safety Science. 2012;50(4):745-750.
- 6 Leotaud VR. Explosion at Colombian coal mine kills 11. Mining.com. 5 abr 2020 [acesso em 17 jun. 2021]. Disponível em: <https://www.mining.com/explosion-at-colombian-coal-mine-kills-11/>
- 7 Rani KSA. Coal mine explosion in Colombia kills nine miners. NS Energy. 3 ago 2020 [acesso em 17 jun. 2021]. Disponível em: <https://www.nsenergybusiness.com/news/coa-mine-explosion-colombia-nine/>
- 8 Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Portaria nº 36, de 16 de janeiro de 2015. Altera a norma regulamentadora da mineração, NRM 06: ventilação. Diário Oficial da União. 2015 Jan 20.

- 9 Brasil. Ministério da Economia. Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. Altera a norma regulamentadora n.º 22 (NR-22): segurança e saúde ocupacional na mineração. Diário Oficial da União. 2019 Abr 11.
- 10 Hartman H. Mine ventilation and air conditioning. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 1982.
- 11 Hartman H, Mutmanský JM, Ramani RV, Wang YJ. Mine ventilation and air conditioning. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons; 1997.

Recebido em: 20 Jun. 2021

Aceito em: 4 Nov. 2021