

MONITORING OF EXCAVATIONS IN THE GALLERIES OF THE UNDERGROUND MINE OF MINERAÇÃO CARAÍBA S/A

R. A. S. FARIAS¹, P. Y. SOUZA², E. B. de JESUS³
Universidade Federal da Bahia^{1,3}, Mineração Caraíba S/A²
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0403-7738>³
ebjesus@ufba.br³

Submetido 16/05/2021 - Aceito 17/12/2021

DOI: 10.15628/holos.2022.12513

ABSTRACT

Excavation monitoring is a concise way of evaluating the operational performance of a gallery development by monitoring the Overbreak, Underbreak and Excavation Quality indices. When starting the development of underground galleries, the non-controllable factors intrinsic to the rock mass should be evaluated so that the operational failures peculiar to the process are minimized, mainly in the execution of topographic

marking activities of the fronts, horizontal drilling. In order to ensure better control, to make index measurements more reliable, a retroanalysis of the excavation of the Mineração Caraíba S/A surveys was carried out, determining the overbreak and underbreak indices, the quality of the excavations and correlations between the loading rate and the evidence were investigated.

KEYWORDS: Excavation, Overbreak, Underbreak, Excavation Quality.

MONITORAMENTO DE ESCAVAÇÕES DAS GALERIAS DA MINA SUBTERRÂNEA DA MINERAÇÃO CARAÍBA S/A

RESUMO

O monitoramento de escavação é uma forma concisa de avaliar o desempenho operacional do desenvolvimento de uma galeria através do acompanhamento dos índices de overbreak, underbreak e a qualidade da escavação. Ao iniciar o desenvolvimento das galerias subterrâneas os fatores não controláveis intrínsecos ao maciço rochoso devem ser avaliados de modo que as falhas operacionais peculiares ao processo sejam minimizadas,

principalmente, na execução das atividades de marcação topográfica das frentes e perfuração horizontal. Para garantir melhor controle, tornar mais confiáveis às medições dos índices, realizou-se uma retroanálise dos levantamentos das escavações da Mineração Caraíba S/A, determinando os índices de overbreak e underbreak, a qualidade das escavações e correlações entre a razão de carregamento e os indícios foram investigados.

PALAVRAS-CHAVE: Escavação, Overbreak, Underbreak, Qualidade de Escavação.

1 INTRODUÇÃO

Em empresas de mineração o monitoramento de escavações é uma ferramenta fundamental para avaliar o desempenho das operações e dar subsídios às equipes de planejamento no sequenciamento da lavra. Este monitoramento, normalmente, consiste na comparação do layout da escavação realizada com a escavação de projeto. As seções utilizadas são obtidas através de levantamentos topográficos da região escavada e os dados posteriormente tratados em softwares apropriados. O processo de monitoramento de galerias de desenvolvimento, em particular, é de fundamental importância para analisar o desempenho das operações e a manutenção do planejamento de lavra. Além disso, é importante para avaliar economicamente e planejar as operações mineiras. Um monitoramento bem executado permite o acompanhamento da evolução das escavações e a identificar eventuais causas de anomalias.

As atividades que envolvem as escavações em rochas compreendem inicialmente as operações de perfuração e desmonte. A perfuração da rocha é a primeira operação do ciclo de lavra e tem como finalidade abrir os furos com uma distribuição e geometria adequada dentro dos maciços para alojar os explosivos e iniciar os desmontes. Essas operações devem ser sempre aprimoradas ao longo da vida da mina, com o intuito de aperfeiçoar e reduzir os custos oriundos dessas operações, permitindo um maior controle das escavações.

Diversos trabalhos na literatura sugerem diferentes formas de avaliar o desempenho da etapa de escavação em rocha. Os indicadores chaves de performance (KPI – Key Performance Index) mais comuns são o overbreak e underbreak, no entanto, há na literatura diferentes formas e metodologia para a determinação desses indicadores (Langefors & Kihlström, 1967; Kuzyk, Lang & Le Bel, 1986; Franklin, Ibarra & Maerz, 1989; Maerz, Ibarra & Franklin, 1996; Verma, Samadhiya, Singh, Goel & Singh, 2017).

De forma simplificada o overbreak pode ser definido como um fenômeno de ruptura excessiva de um maciço rochoso. Enquanto o underbreak é um fenômeno que ocorre quando a ruptura do maciço é incompleta. Na Mineração Caraíba S/A (MCSA) o overbreak é calculado pela subtração entre a área real da escavação escaneada pela área planejada enquanto que o underbreak não é calculado. Entende-se, na empresa, que o underbreak ocorre quando a área real da escavação escaneada é menor que área planejada.

As escavações da MCSA atualmente apresentam uma alta variação de sobre-escavação e sob-escavação, que são conjuntamente denominadas de “overbreak”. Essa prática inviabiliza a identificação ou mascara as reais causas do overbreak, compensando as áreas de underbreak presentes na escavação. Por esse motivo foi identificado a oportunidade de readequar as condições desse controle, destrinchando as variáveis envolvidas com o intuito de descortinar as escavações nos níveis de desenvolvimento.

No presente trabalho foi realizado, portanto, a reavaliação das seções escaneadas das galerias do desenvolvimento da MCSA separando os tipos de seções e quantificando os índices de overbreak e underbreak. Com base nos dados disponíveis foi possível implementar um índice de

controle de qualidade das seções e avaliar a existência de correlações entre esses índices e a razão de carga, que é um reconhecido fator influente nos índices de overbreak e underbreak.

2 ASPECTOS TEÓRICOS

O overbreak é definido como um trecho de rocha removida além do necessário considerando o projeto de uma escavação, enquanto que o underbreak é a porção de rocha indesejável que restou durante o processo de escavação (Franklin et al., 1989). As escavações em rocha por detonação, inevitavelmente resultam em deformações não previstas segundo o plano inicial. Um exemplo clássico de overbreak é mostrado na Figura 1, onde se vê no teto da galeria uma importante sobre-escavação. Overbreak e underbreak são ambos indesejáveis, por demandar altos custos e tempo para reparo. A ocorrência do overbreak requer métodos de preenchimento nos espaços vazios enquanto que o underbreak precisa ser removido com esforços mecânicos ou detonações auxiliares. Além disso, o overbreak é geralmente acompanhado por danos na rocha por altas tensões no maciço. As escavações que não são devidamente tratadas por conta do overbreak e underbreak resultam em galerias com perfis longitudinais irregulares, resultando em maior resistência ao fluxo ar, prejudicando a ventilação da mina (Langefors & Kihlström, 1967; Maerz et al., 1996; Verma et al., 2017).

Overbreak e underbreak são causados por condições geológicas ou fatores de detonação, perfuração ou uma combinação deles. Os fatores pertinentes que causam a sobre-escavação e a sub-escavação são diversos, entre eles se destacam os fatores geológicos que influenciam o rompimento do maciço rochoso, a orientação do corpo do minério, a razão de carga, o tamanho do bloco, alterações geológicas e tensões in-situ. A força da rocha sob algumas circunstâncias pode ser um fator significativo. As altas velocidades de detonações, altas densidades explosivas, alta resistência ao peso do maciço e os grandes diâmetros dos furos carregados com explosivos levam ao aumento da quebra de rochas e danos no maciço (Kuzyk et al., 1986; Berta, 1990; Clarke, 1995; Germain & Hadjigeorgiou, 1997).

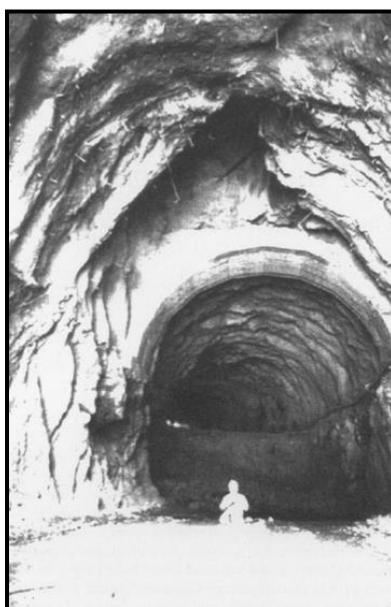


Figura 1: Efeitos de uma detonação em uma galeria. (Fonte: Maerz et al., 1996).

2.1 Levantamento topográfico de galerias

O levantamento e mapeamento das escavações são cruciais para as inspeções de rotina do desenvolvimento operacional. A maioria dos equipamentos de mapeamento se concentra nas informações geométricas das escavações extraindo os dados com varredura a laser. Existem dois tipos de aplicações amplamente discutidas na literatura: medição de deformação e extração de características. A medição tradicional de deformação em um ambiente subterrâneo é realizada com uma série de pontos de controle permanentes instalados ao redor do perfil de uma escavação. O uso da varredura a laser para análise de deformação oferece muitos benefícios em comparação com as técnicas tradicionais de monitoramento. A mudança de perfil pode ser totalmente caracterizada e as áreas com anomalias podem ser facilmente separadas das tendências gerais devido à alta densidade dos dados da nuvem de pontos. Além disso, o monitoramento com um scanner a laser não requer a instalação permanente de pontos de controle, como acontece na estação total, portanto o monitoramento pode ser concluído mais rapidamente após a escavação. A principal desvantagem de usar o escaneamento a laser para o monitoramento de deformação é a espessura da nuvem de pontos, que em algumas regiões são mais grossas e dificulta o operador a obtenção da seção mais representativa (Weixing Wang, Zhiwei Wang, Ya Han, Shuang Li & Xin Zhang, 2015).

Para avaliar a estrutura de uma escavação e calcular o overbreak e underbreak, levantam-se as seções transversais da adutora, durante o período de sua construção. Para gerar essas seções podem ser utilizados diversos métodos de levantamento de dados, resumidos nas Tabelas 1. A Tabela 1 sumariza os métodos em manuais e automáticos, em função da automação dos equipamentos. Na primeira coluna indicam-se os equipamentos necessários e na segunda, os prós e os contras de cada método que são utilizados para o levantamento da planta, do perfil e para a extração de seções transversais ao longo de seu eixo (Cintra & Gonçalves, 2017).

Tabela 1: Métodos utilizados em levantamentos subterrâneos. (Fonte: Adaptado de Cintra & Gonçalves, 2017)

| Equipamentos | Prós e Contras |
|-------------------|--|
| Estação Total | Pró: alta precisão, a coleta de dados e o processamento podem ser feitos em campo. |
| | Contra: grande número de demoradas observações, acarretando um tempo grande para a coleta de dados. |
| Taqueômetro laser | Pró: rápido e fácil de utilizar, precisão aceitável para muitas aplicações e com baixo custo. |
| | Contra: operação e gravação manual, restrito em função de não poder utilizar laser mais potente em função da segurança. |
| Laser Scanner 3D | Pró: alta precisão, rápida taxa de gravação, coleta informações de todo o objeto, não apenas de seções isoladas. |
| | Contra: equipamento caro, operador altamente qualificado, deve-se trabalhar com uma estação total (alguns equipamentos). |

Com a finalidade de garantir a segurança, a estabilidade em longo prazo e o controle de qualidade em operações modernas de escavação em galerias, é necessária a obtenção de informações geotécnicas sobre as condições das rochas e as informações detalhadas dos suportes que serão utilizados. O tempo curto entre as detonações e os levantamentos de galerias torna a disseminação dos dados algo desafiador (Clarke, 1996)

O planejamento da mina da Caraíba Mineração S/A utiliza várias técnicas dentre as quais uma retroanálise das galerias de desenvolvimento com base nos levantamentos topográficos com o uso dos scanners a laser I-Site, VS ou pontos topográficos gerados por Estação Total durante o desenvolvimento das frentes de cada mês. Esses aparelhos fazem levantamentos através da coleta de pontos de coordenadas x, y e z, gerando nuvens de pontos que são utilizadas para interpretação do desenho (seção) no software Topograph que em seguida é usado para a determinação das áreas no software Datamine.

2.2 Determinação do overbreak e underbreak

De acordo com Zdazinsky (2015) a sobre-escavação (overbreak) é representada pela subtração entre o volume real da escavação levantada subtraído pelo volume ideal a se escavar, conforme Equação (1) e ilustrado na Figura 2:

$$Overbreak = (\text{Volume executado escaneado}) - (\text{Volume programado}) \tag{1}$$

$$Overbreak = (1 + 2 + 5) - (2 + 3 + 4) = (1 + 3 + 4 + 5)$$

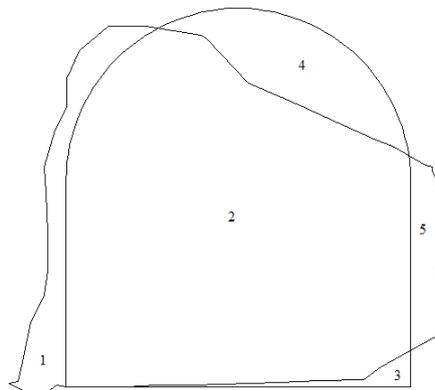


Figura 21: Representação esquemática do overbreak e underbreak. (Fonte: Adaptado de Zdazinsky, 2015)

Diferente da proposição enunciada por Zdazinsky (2015), Maerz et al. (1996) define o overbreak e underbreak conforme as Equações 2 e 3, cuja representação geométrica, baseada no diagrama de Venn, é apresentada na Figura 3:

$$Overbreak(O) = (R - P) \cap X \tag{2}$$

$$Underbreak(U) = (X \cup P) - (X \cap P) - O \tag{3}$$

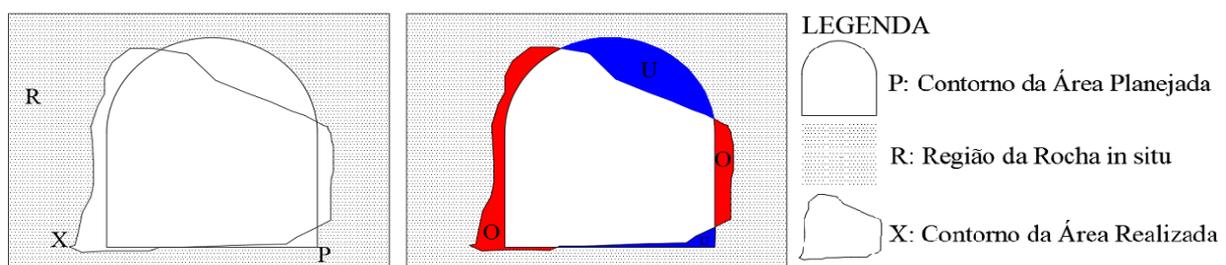


Figura 3: Representação esquemática do cálculo de overbreak e underbreak, (R) região da rocha in situ. (U) underbreak. (O) overbreak. (Fonte: Adaptado de Maerz et al., 1996)

A metodologia adotada no presente trabalho se baseia na definição de Maerz et al. (1996), em que consiste na utilização de um script exclusivo no software Datamine, que contém as Equações (2) e (3), para obter as áreas de overbreak e underbreak.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Considerações do processo

O trabalho foi iniciado com o levantamento em campo do layout das escavações executadas nas galerias de desenvolvimento no período de um ano. A Figura 4 apresenta trechos de galerias da mina subterrânea da Mineração Caraíba S/A levantadas através dos diferentes métodos.

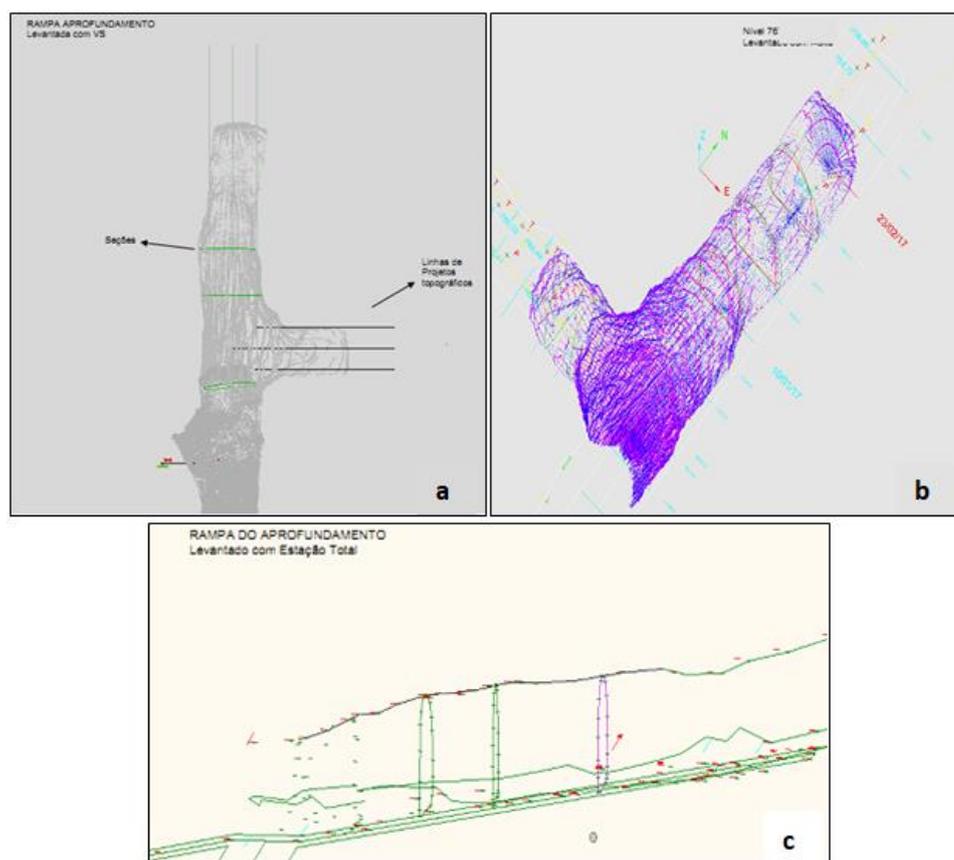


Figura 4: Levantamentos topográficos de galerias da mina subterrânea da MCSA: a) Levantamento topográfico de rampa de aprofundamento realizado com o scanner a laser VS; b) Levantamento topográfico de galeria realizado com o scanner a laser I-Site; c) Levantamento topográfico de rampa de aprofundamento realizado com Estação Total.

A partir dos dados levantados, arquivos na extensão .dxf foram preparados no Topograph e inicialmente tratados nesse software. Posteriormente o arquivo gerado no Topograph foi exportado e tratado no Datamine Studio 3.0. Os dois tipos de seções das escavações adotados pela Mineração Caraíba S/A foram estipulados levando em consideração o tamanho dos equipamentos que transitam nas galerias. Nas seções de $5,0 \times 5,5$ m, que normalmente são seções destinadas às galerias de transporte de minério, rampas e desvio de galerias, existe o transporte de todos os equipamentos da mina subterrânea. O equipamento mais alto (Figura 5a) demonstra a necessidade das dimensões desse tipo de galeria, respeitando sempre o diâmetro do duto de

ventilação e o espaço de folga para os tipos de seções padrões. As seções $4,5 \times 4,8$ m normalmente são destinadas às galerias de acesso, travessas e galerias de ventilação. Nessas galerias os equipamentos corriqueiros são os de perfuração de lavra e desenvolvimento e a carregadeira (Figura 5b).

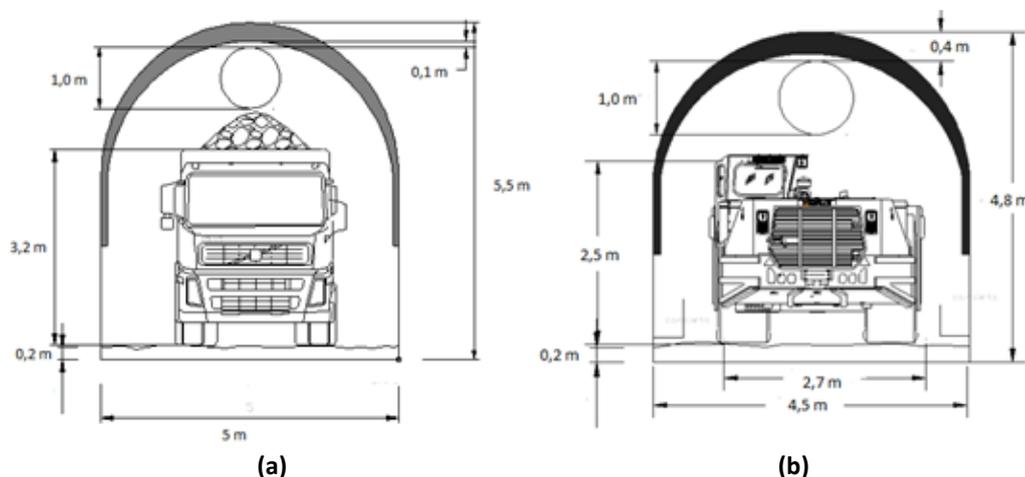


Figura 5: Relação geométrica entre equipamentos de carregamento e transporte e as galerias. a) representação do caminhão Volvo na maior seção atual. b) representação da carregadeira na menor seção atual.

A distância entre as seções levantadas das frentes de desenvolvimento ocorre em torno de 5 m, para que haja aleatoriedade entre seções. A quantidade de seções que representam o desenvolvimento realizado do mês é a divisão do desenvolvimento realizado mensal por 5. As medições de overbreak são individuais em cada mês, ou seja, a seção de determinado mês não conta para o mês seguinte. Regiões de slash, emboques ou curva foram desconsideradas exceto quando o levantamento ocorreu antes de iniciarem a perfuração que resultam essas regiões. A Figura 6 ilustra as seções para esses casos especiais, onde é possível observar a alocação diferencial das seções posicionadas imediatamente a frente das regiões mencionadas e mais próximo possível da seção anterior. O overbreak e underbreak de cada frente são determinados pela média das seções levantadas, assim como seus correspondentes mensais que são obtidos pela média das frentes.

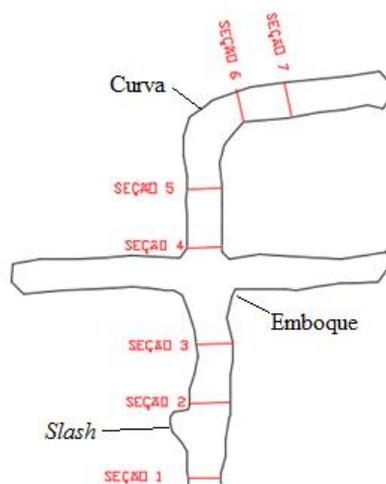


Figura 6: Galeria com posicionamento adequado das seções e os posicionamentos correto levando em conta regiões proibidas para alocar seções da MCA.

3.2 Determinação da qualidade das seções

Na tentativa de avaliar a qualidade das escavações foi elaborada uma proposta para estimativa da área máxima, média e mínima das seções, a fim de demonstrar as dimensões das seções escavadas baseada no trabalho de Calazans (2017). Para exemplificar a qualidade das escavações criou-se uma maneira no software Datamine de demonstrar à máxima, média e mínima seções realizadas no desenvolvimento. O objetivo dessa análise pressupõe expor as regiões predominantes do overbreak e underbreak quando se desenvolve nas galerias da mina subterrânea da Mineração Caraíba S/A.

Todas as seções foram separadas pelo tamanho das seções planejadas ($5,0 \times 5,5$ m e $4,5 \times 4,8$ m) e agrupadas no mesmo plano. No software Datamine as seções foram unidas pelo centróide. Na sequência as seções foram seccionadas em ângulos de 24° , totalizando 8 planos e 16 fatias, conforme a Figura 7.

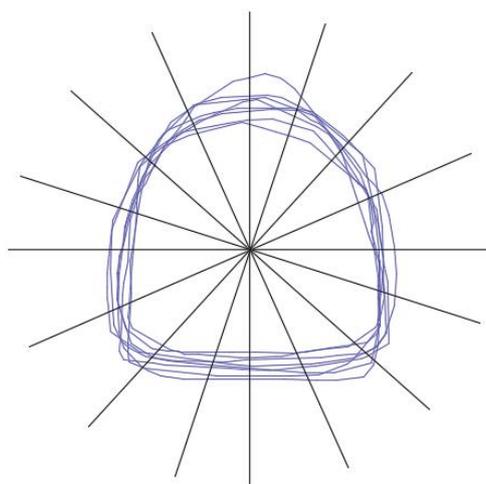


Figura 7: Seções fatiadas pelo centróide.

Para determinar a seções máximas e mínimas criaram-se pontos de interseção das linhas dos planos com os conjuntos de seções, conforme a Figura 8. O ponto superior e inferior de todas as seções do plano define a escavação máxima e mínima realizada, enquanto a seção média foi definida a partir dos pontos médios de cada um dos 8 planos. Todos os pontos foram importados para o arquivo CSV DATA e usados para o cálculo das médias dos 8 planos, definindo assim a seção média.

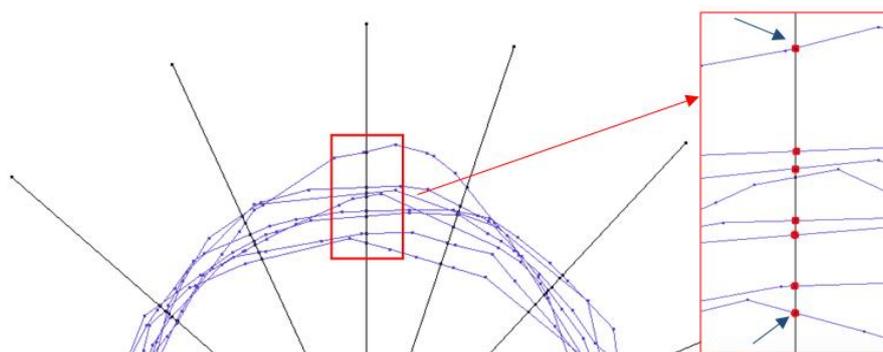


Figura 8: Pontos de interseção dos planos com as seções.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A determinação do overbreak, conforme padrão da Mineração Caraíba S/A (MCSA) segue a estimativa de overbreak conforme definido por Zdazinsky (2015) usando o software Topograph. A Figura 9 mostra o gráfico com o comportamento do overbreak mensal durante o período de realização do presente trabalho e os limites de metas estabelecidos pela MCSA. As tolerâncias das médias de overbreak foram determinadas pela Empresa em 12% para meta mínima, 11% meta média e 10% meta de superação. As seções que constituíram a média do overbreak do mês 1 foram coletadas nos três meses anteriores, devido aos dois primeiros meses não apresentarem poucos levantamentos topográficos em decorrência do baixo desenvolvimento de galerias realizados. As áreas correspondentes às seções 5,0 × 5,5 m e 4,5 × 4,8 m são 24,663 m² e 19,297 m² respectivamente.

O gráfico da Figura 9 mostra que nos meses de 1 e 2 foram registradas as maiores ocorrências de overbreak. No mês 3 foram feitos testes de implantação da técnica de desmonte escultural, o que resultou em médias menores de overbreak na maioria das galerias desse mês. Entre os meses de 4 a 7 ocorreram mais testes referentes a carregamento com explosivos, onde os resultados não foram satisfatórios. No mês 6, em especial, além da realização de testes para o ajuste do plano de fogo, as escavações foram realizadas em regiões próximas a galerias antigas, com elevadas tensões. A movimentação extra de massa em decorrência do overbreak resultou, neste mês, o aumento de custos relacionados a transporte de material. Nos meses 8 a 10 ocorreram decaimentos bruscos da média do overbreak, por conta da mudança da malha de perfuração, tornando-a menor. Essa prática foi uma forma rápida de minimizar a geração overbreak.

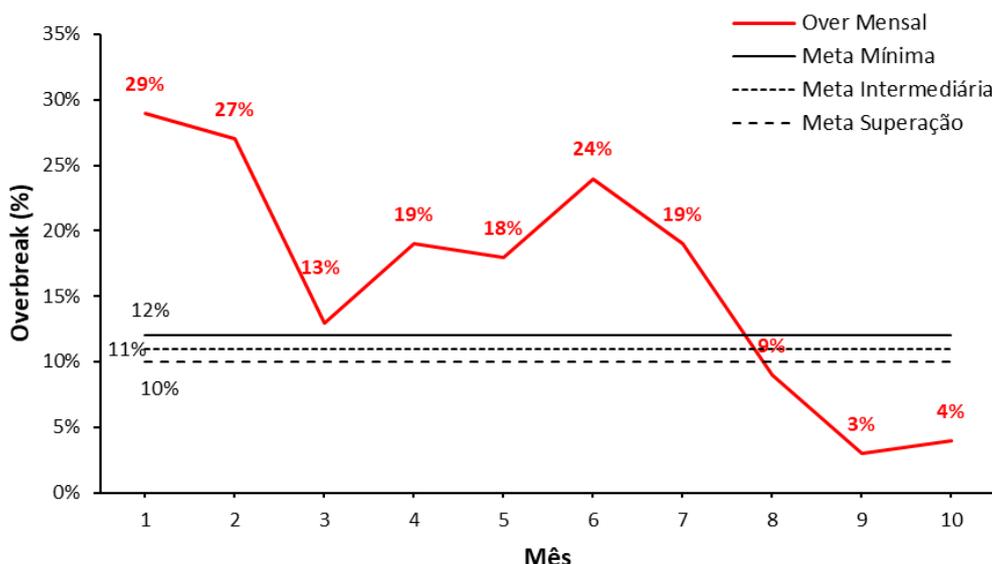


Figura 9: Gráfico de controle do overbreak de galerias de desenvolvimento da MCSA.

A Figura 10 mostra o gráfico com o comportamento do overbreak mensal e underbreak durante o segundo semestre do ano e o overbreak determinado pela metodologia propostas por Maerz et al. (1996). É possível observar que a média do overbreak aumentou devido a ausência de compensação da área de underbreak como ocorria anteriormente. Pode-se observar que a curva

do overbreak antes se disfarçava por conta do underbreak. O mês 5, segundo a antiga metodologia, foi o mês que conseguiu obter a menor média do overbreak no ano considerado, mascarando a realidade ocorrida na escavação. A maior média de underbreak ocorreu no mês 5 coincidindo com o aumento de 22% nos custos com perfuração e desmonte. De acordo com Maerz et al. (1996), na tentativa de diminuir o overbreak inevitavelmente aumenta-se a incidência de underbreak como é observado no gráfico da Figura 10. Entre os meses 4 e 6 a campanha para redução rápida do overbreak apresentou esse comportamento.

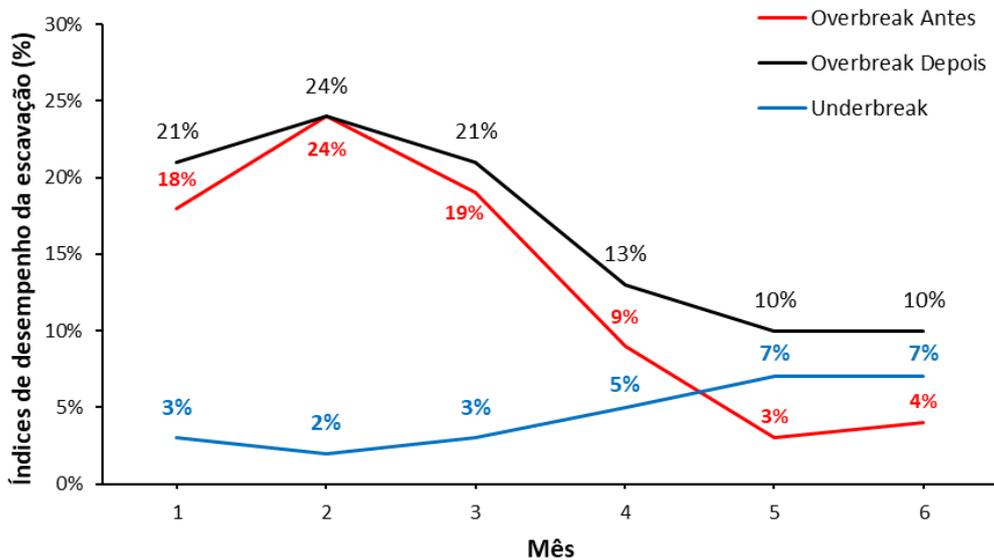


Figura 10: Comparação entre as metodologias antiga e nova na MCSA.

A Figura 11 ilustra a qualidade das seções do mês 5 do gráfico da Figura 11. Pode-se concluir que as seções de 5,0 x 5,5 m tendem a “quebrar” em forma de capelamento. Capelamento são quebras mecânicas em regiões de alta tensão de maciços anisotrópicos. Nessa região os planos da foliação que são aproximadamente paralelos à sua parede formam finas camadas de rochas que podem ocasionar um mecanismo de ruptura, no qual a rocha tem suas camadas rompidas para dentro da escavação. As regiões da mina subterrânea da MCSA onde estão desenvolvendo com as seções 5,0 x 5,5 m são descritas pela equipe de Geotecnia da Empresa como regiões de capelamento e em sua maioria possui orientação N-S.

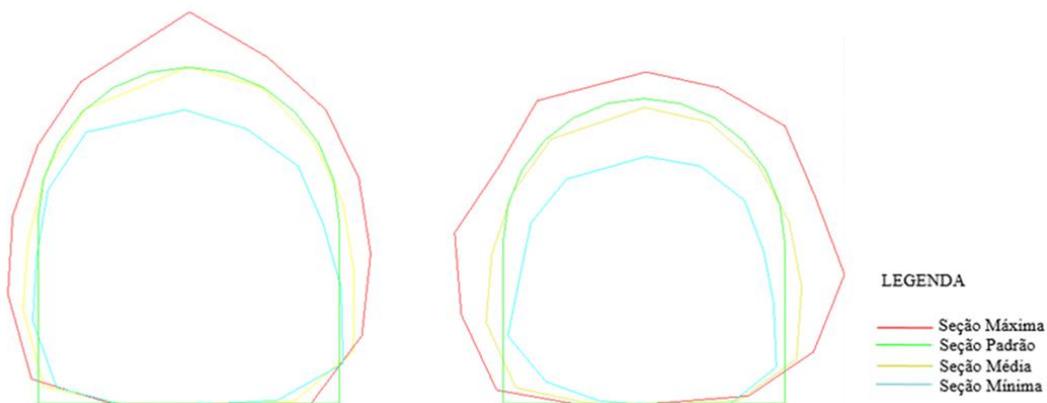


Figura 11: Qualidade das seções da MCSA: a esquerda seção 5,0 x 5,5 m e a direita 4,5 x 4,8 m.

A Figura 12 apresenta diagramas de dispersão entre a razão de carga de explosivo usados no desmonte da rocha nas galerias de desenvolvimento e os overbreak e underbreak. Para a construção desses diagramas foram utilizadas informações de 97 seções executadas nos meses no segundo semestre do ano.

O gráfico da Figura 12a mostra que há uma forte correlação logarítmica entre os valores de overbreak e razão de carga. Vários modelos matemáticos foram investigados para explicar a melhor relação entre razão de carga e overbreak, no entanto, aquele que apresentou maior coeficiente de regressão foi o modelo logaritmo, $R^2 = 0,80$. De acordo com Kutner, Nachtsheim, Neter & Li (2005), o coeficiente de determinação (R^2) é uma medida descritiva da proporção da variação de Y que pode ser explicada por variações em X e que quanto mais próximo de 1 estiver o coeficiente de determinação melhor será o grau de explicação da variação de Y em termos da variável X . Assim, de acordo com o gráfico da Figura 12a, pode-se constatar que quanto maior a razão de carga maior é o overbreak. Essa constatação corrobora o que foi observado por Langefor & Kihlstrtm (1967), Kuzyk et al. (1986), Berta (1990), Clarke (1995) e postulado por Maerz et al. (1996), Germain & Hadjigeorgiou (1997) e Verma et al. (2017).

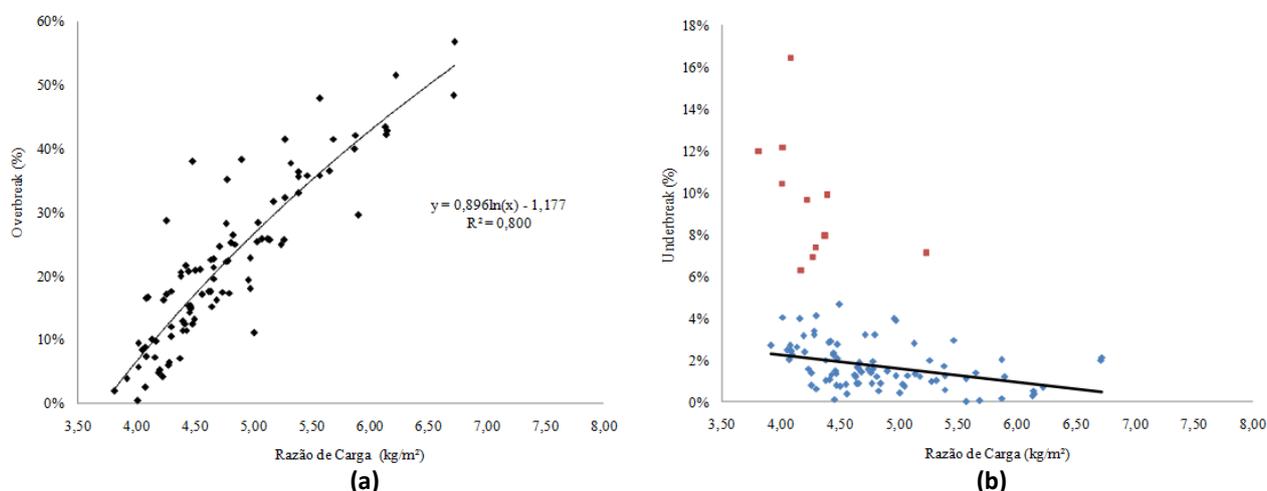


Figura 12: Efeito da razão de carga na qualidade das escavações das galerias de desenvolvimento da MCSA. a) efeito sobre o overbreak; b) efeito sobre o underbreak

A Figura 12b mostra que existe uma relação dispersa entre os valores da razão de carga e o underbreak nas galerias de desenvolvimento da MCSA. No entanto, pode-se notar que existe alguma tendência decrescente que relaciona este índice com o aumento da razão de carga, quando são desconsiderados os pontos com maiores valores de underbreak (pontos destacados em vermelho no gráfico da Figura 12b). Esse comportamento também foi observado por Langefor & Kihlstrtm (1967), Kuzyk et al. (1986), Berta (1990), Clarke (1995) e postulado por Maerz et al. (1996), Germain & Hadjigeorgiou (1997) e Verma et al. (2017). Os pontos que apresentam altos valores de underbreak (pontos em vermelho) estão relacionados com galerias que foram desenvolvidas em zonas com grandes blocos de rochas caracterizadas como competentes e a presença de pequenas famílias de descontinuidades. Por essa razão, o resultado dos desmontes resultou na quebra parcial do material na galeria aumentando assim os índices de underbreak.

Os resultados sugerem que a metodologia alternativa a utilizada na MCSA é capaz de descortinar as relações entre os índices de desempenho overbreak e underbreak evitando, assim,

que os valores desses índices não sejam sobrepostos entre si. A adoção desta estratégia de controle possibilitará uma investigação das reais causas que provocam a redução da qualidade das escavações de galerias de desenvolvimento de acesso. A análise da qualidade das seções descreve, de um modo geral, a máxima, média e mínima seção dos tipos de escavações da Empresa destacando, características geotécnicas, entre certos tipos de seções.

5 CONCLUSÕES

O monitoramento das escavações é uma ferramenta objetiva para a avaliação do desempenho operacional do desenvolvimento de galeria de acesso através do acompanhamento dos índices de overbreak, underbreak e a qualidade da escavação. No presente trabalho foi realizada uma revisão da metodologia de cálculo e estimativa dos índices de overbreak e underbreak, a partir da análise de dados históricos, e incorporação do índice qualidade de escavação.

A avaliação do overbreak seguindo a metodologia anteriormente utilizada mascara as reais causas das problemáticas que envolvem uma escavação, pois além de omitir a presença do underbreak compensa essa área na sua obtenção. Com a nova abordagem, separando as áreas referentes a esses índices, percebe-se um aumento na média de overbreak em cada mês. Fica evidente que em alguns meses o esforço para reduzir o overbreak diminuindo a malha de perfuração, aumenta o índice de underbreak.

Foi constatada uma correlação crescente entre a razão de carga de explosivo e o índice de overbreak de tal forma que na medida em que se aumenta a razão de carga aumenta-se a incidência de sobre-escavação. Por outro lado, levando em consideração todos os dados disponíveis, foi verificada a ausência de correlação visível e marcante entre a razão de carga e underbreak. No entanto, excluindo os maiores valores de underbreak, que estavam relacionados a problemas geotécnicos, pode-se perceber uma sensível relação inversamente proporcional entre a razão de carga e a sub-escavação.

6 REFERÊNCIAS

- Franklin, J., Ibarra, J. & Maerz, N. (1989). Blast overbreak measurement by light sectioning. *International Journal of Mining and Geological Engineering*, 7, 323-331. DOI: 10.1007/BF00896596
- Langefors U. & Kihlström, B. (1967). *The Modern Technique of Rock Blasting*, Almquist & Wiksell, Stockholm.
- Maerz, N. H., Ibarra, J. A. & Franklin, J. A. (1996). Overbreak and underbreak in underground openings Part 1: measurement using the light sectioning method and digital image processing. *Geotechnical and Geological Engineering*, 14, 307-323. DOI: 10.1007/BF00421946
- Verma H. K., Samadhiya, N. K., Singh, M., Goel, R. K. & Singh, P. K. (2017). Blast induced rock mass damage around tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 71, 149-158. DOI: 10.1016/j.tust.2017.08.019



- Kuzyk, G. W., Lang, P. A. & Le Bel, G. (1986). *Blast design and quality control at the second level of atomic energy of Canada's underground research laboratory*. Proceedings of the International Symposium on Large Rock Caverns, Helsinki.
- Berta, G. (1990). *Explosives: An Engineering Tool*. Italesplosivi, Milano.
- Clarke, T. A. (1995). *Study of blast induced damage*. Internal Report. The University of British Columbia, Canadá.
- Germain, P., & Hadjigeorgiou, J. (1997). Influence of stope geometry and blasting patterns on recorded overbreak. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 34(3-4), 1-12. DOI: 10.1016/S1365-1609(97)00219-0
- Wang, W., Zhiwei, W., Ya, H., Shuang, L., & Xin, Z. (2015). *Continuous section extraction and over Underbreak detection of tunnel based on 3D laser technology and image analysis*. THREE-DIMENSIONAL IMAGE PROCESSING, MEASUREMENT (3DIPM), AND APPLICATIONS 2015. Presented at the Three-Dimensional Image Processing, Measurement (3DIPM), and Applications 2015, 10 February 2015 through 12 February 2015. <https://doi.org/10.1117/12.2078051>
- Clarke, T. A. (1996). A Review of Tunnel Profiling Methods. International Review Paper.
- Cintra, J. P., & Gonçalves, R. (2017). Topografia de túneis com laser scanner terrestre: estudo de caso. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 23(1), 115-133. DOI: 10.1590/s1982-21702017000100008
- Zdazinsky, C. (2015). Effect of electronic detonators in underground tunneling application. *The Journal of Explosives Engineering*, 32, 28-35.
- Calazans, P. (2017). *Análise de seção de desenvolvimento primário da Mina Lamego da Anglo Gold Ashanti*. In: Encontro Planejamento de Mina Subterrânea 2017. Sabará - Minas Gerais.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied Linear Statistical Models*. (5th ed.) McGraw-Hill Irwin.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

Farias, R. A. S., Souza, P. Y., & de Jesus, E. B. (2022). MONITORAMENTO DE ESCAVAÇÕES DAS GALERIAS DA MINA SUBTERRÂNEA DA MINERAÇÃO CARAÍBA S/A. *HOLOS*, 4. <https://doi.org/10.15628/holos.2022.12513>

SOBRE OS AUTORES

R. A. S. FARIAS

Engenheira de Minas formada pela Universidade Federal da Bahia (2019) e atualmente ocupa o cargo de Engenheira Júnior, Planejamento de Lavra, da Jacobina Mineração e Comércio.

E-mail: raizaandressa@gmail.com



ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-0955-9679>

P. Y. SOUZA

Engenheiro de Minas formado pela Universidade Federal da Bahia. Possui MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas. Atuou como Engenheiro de Minas na Mineração Caraíba, nas áreas de Operação e Planejamento de Lavra (Curto, Médio e Longo Prazo) e atualmente ocupa a função de Gerente de Reservas e Life of Mine da empresa, voltado para atuação estratégica e implementação de novas minas no Vale do Curaçá.

E-mail: pedro.souza@minacaraiba.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-8772-1415>

E. B. de JESUS

Graduado em Engenharia de Minas pela Universidade Federal da Bahia (2010), mestrado em Engenharia Industrial pelo Programa de Pós-graduação de Engenharia Industrial (PEI) da Universidade Federal da Bahia (2014) e doutorado em Energia e Ambiente pelo Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal da Bahia (2015). Tem experiência na área de tratamento de minérios e processos inorgânicos, atuando principalmente nos seguintes temas: metalurgia extrativa, sistemas particulados, reologia de fluidos complexos, simulação, controle e otimização de processos em sistemas particulados. Têm experiência em locação e perfuração de poços para captação de águas subterrâneas em ambientes fissurais, cársticos e sedimentar. Atualmente é professor Adjunto do Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.

E-mail: ebjesus@ufba.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0403-7738>

Editor(a) Responsável: Elenice M Schons Silva

Pareceristas Ad Hoc: Angelo Quintiliano Nunes da Silva e Cláudio Lúcio Lopes Pinto



Recebido 16 de junho de 2021

Aceito: 17 de dezembro de 2021

Publicado: 28 de dezembro de 2022

