

# Análise do *Overbreak* nas Escavações de Desenvolvimento de Uma Mina Subterrânea no Interior da Bahia

Carlos Hiego Oliveira Santos

Engenheiro de Minas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, hiego.engminas@gmail.com

PhD Larissa Regina Costa Silveira

Professora, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, larissaeng07@gmail.com

**RESUMO:** O *overbreak* é um dos problemas mais recorrentes nas escavações de desenvolvimento em minas subterrâneas. O objetivo desse trabalho é avaliar a relação do *overbreak*, ao longo de 818m de 23 galerias de uma mina subterrânea localizada no interior da Bahia, com variáveis geológicas, geotécnicas e operacionais. Para isso, foi feito primeiramente um estudo quantitativo por regressão linear simples, para verificar se há relação entre o *overbreak* e as variáveis RQD, Q, área da seção da galeria e avanço por escavação. Posteriormente, foi feita uma análise qualitativa com a finalidade de identificar as possíveis causas do *overbreak* na mina em questão, considerando os aspectos operacionais, como perfuração e plano de fogo, além do tipo de rocha. Através da regressão linear, foi possível identificar que para esse estudo de caso não há relação linear univariada entre o *overbreak* e as variáveis RQD, Q, área da seção e avanço. Quanto à avaliação qualitativa, foi identificada uma tendência de *overbreak* maior em galerias escavadas em regiões onde há contato entre duas litologias. Também foi observado que possíveis inadequações no plano de fogo e na operação de perfuração podem ser fatores que contribuem para as altas taxas de *overbreak* nessa mina.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Overbreak*, Desenvolvimento de Mina, Regressão Linear, Análise qualitativa.

**ABSTRACT:** Overbreak is one of the most common problems in underground mine excavations. The objective of this work is to evaluate the relationship of overbreak, along 818m of 23 mine drifts of an underground mine located in Bahia State (Brazil), with geological, geotechnical and operational variables. In a first step, a quantitative study was carried out using simple linear regression, to verify the relationship between overbreak and the variables RQD, Q, drift section area and advance excavation. Subsequently, a qualitative analysis was carried out in order to identify the possible causes of the overbreak in this mine, considering operational aspects, such as drilling and blasting, in addition to lithology. Through linear regression, it was possible to identify that for this case study there is no univariate linear relationship between the overbreak and the variables RQD, Q, section area and advance of excavation. As for the qualitative assessment, a tendency for greater overbreak was identified in drifts excavated in on contact between two lithologies. It was also observed that possible inadequacies in the blasting plan and drilling operation could be factors that contribute to the high overbreak rates in this mine.

**KEYWORDS:** Overbreak, Mining Development, Linear Regression, Qualitative Analysis

## 1 INTRODUÇÃO

Entende-se por *overbreak* uma área excedente de rocha escavada, além do contorno planejado de uma escavação, ou seja, é quando uma quantidade maior de material é desmontado nas operações de escavação do que o que foi de fato planejado e normalmente é dado em índices percentuais. É um dos problemas mais recorrentes nas escavações de desenvolvimento em minas subterrâneas, com impactos diretos na segurança dos trabalhadores e das operações, além dos impactos financeiros. Quanto maiores as porcentagens de *overbreak*, maiores os custos com sustentação, carregamento e transporte.

O levantamento de possíveis causas desse problema possibilita que as empresas tomem decisões que podem levar a melhorias no processo. Diante disso, esse trabalho tem como objetivo analisar o *overbreak* nas escavações de desenvolvimento de uma mina subterrânea no interior da Bahia. Para isso, será feita uma análise

quantitativa a fim de investigar se há relação matemática entre as taxas de *overbreak* com parâmetros geomecânicos do maciço rochoso e de planejamento da escavação e também uma análise qualitativa das taxas de *overbreak* com informações coletadas em campo, no dia a dia das operações, a fim de se tentar identificar as principais causas desse problema nessa mina em estudo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 *Overbreak e Underbreak*

Taxas de *overbreak* e *underbreak* são alguns dos indicadores mais comuns na mineração para avaliar o quanto o projeto de uma escavação de desenvolvimento foi cumprido. O *overbreak* ou sobrescavação é definido como a remoção não desejada de material, o que aumenta a dimensão da seção da escavação. Já o *underbreak* ou subescavação, é o material que permanece de forma indesejada engastada à escavação reduzindo o tamanho da seção escavada, segundo Franklin *et al.* (1989). Na Figura 1 são ilustrados esses dois indicadores.

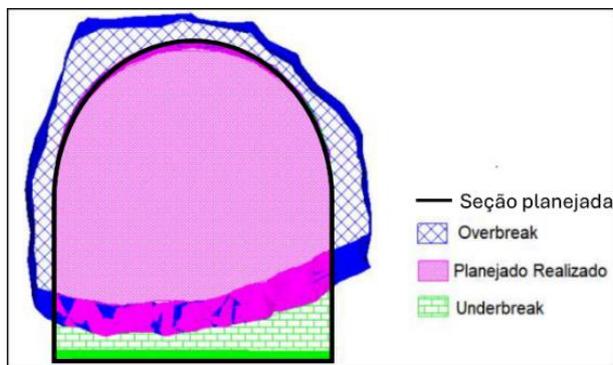


Figura 1. Ilustração do *overbreak* e *underbreak* de uma galeria (Adaptado de Santos, 2021).

Como consequências do *overbreak* pode-se apontar um aumento na quantidade de material que deverá ser carregado e transportado, o que leva a um aumento dos custos gerais dessas operações e também aumento do tempo de ciclo da escavação. Além do mais, como a seção da escavação será maior do que a planejada, aumentará também a quantidade de material de contenção. Já o *underbreak*, pode resultar em retrabalho, como um novo desmonte se for possível, o que gera atraso do ciclo e custos extras com uma nova detonação. Ambos os problemas são críticos, no entanto, no banco de dados disponível para esse trabalho, a quantidade de amostras com problemas de *underbreak* era pequena e pouco representativa. Sendo assim, apenas o *overbreak* foi avaliado.

De acordo com Jang & Topal (2013), os fatores causadores de *overbreak* são classificados em controláveis e incontroláveis. Os fatores controláveis referem-se aos parâmetros do projeto de detonação, que envolvem as características dos explosivos, tempo de atraso, concentração de carga, comprimento do furo, inclinação e diâmetro do furo. Os fatores incontroláveis são relacionados aos os parâmetros geológicos e geotécnicos e também ao campo de tensões atuante no maciço. O *overbreak* em termos de volume de material ( $m^3$ ) é dado através da Equação 1. A taxa percentual de *overbreak* é dada pela Equação 2.

$$Overbreak (m^3) = \text{Volume desmontado} - \text{Volume planejado} \quad (1)$$

$$Overbreak (\%) = \frac{Overbreak}{Massa planejada} \times 100 \quad (2)$$

### 2.2 Regressão Linear

A regressão linear simples descreve uma variável Y como uma soma de uma quantidade determinística que depende de X (Charnet *et al.*, 2008) (Equação 3).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (3)$$

Onde:  $Y$  = variável que está sendo explicada (variável dependente);  $\beta_0$  = coeficiente linear que representa a interceptação da reta de regressão com o eixo das ordenadas do gráfico de regressão linear;  $\beta_1$  = coeficiente angular, ou seja, a inclinação da reta de regressão;  $X$  = variável explicativa (independente);  $\varepsilon$  = erro ou desvio, resíduo.

A regressão linear permite avaliar a relação entre duas variáveis e descobrir como uma delas influencia a outra, ou seja, como a variável dependente pode ser explicada pela variável independente. Se a regressão apresentar um alto coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a equação de regressão pode ser capaz de prever o valor da variável dependente a partir do valor da variável independente.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é uma das principais métricas utilizadas para avaliar a capacidade de previsão de uma variável  $Y$  por uma variável independente  $X$  através da equação de regressão (Hoffmann, 2016) e pode variar de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo do 0 mais fraca a relação; quanto mais próximo de 1, mais forte é a relação. Além do  $R^2$ , é importante avaliar se a variável dependente é significativa para a equação de regressão. Considerando um nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 0,05, se o p-valor da variável dependente  $X$  for menor que  $\alpha$ , pode-se concluir que a variável é significativa para a análise de regressão. Mais detalhes sobre análise de regressão linear podem ser encontrados em Hair *et al.* (2009).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Levantamento dos Dados

Para levantar os dados utilizados nesse estudo, foi necessário um acompanhamento em campo junto às diversas equipes envolvidas no desenvolvimento da mina, como equipe de geologia, de planejamento, de topografia e de operação. Para obter as taxas de *overbreak*, foram levados em consideração os dados de reconciliação entre os sólidos projetados e executados. Os sólidos referentes ao projeto executado foram coletados através de escaneamento da galeria pela equipe de topografia. A reconciliação entre os sólidos foi feita pelo *software* Vulcan. A Figura 2 mostra a vista em planta de um trecho de uma galeria dessa mina, onde é possível identificar o contorno da galeria executada e da galeria planejada.

Além das taxas de *overbreak*, outros parâmetros foram necessários, como *Rock Quality Designation* (RQD) (Deere *et al.*, 1967),  $Q$  (Barton *et al.*, 1974), avanço por desmonte ( $m$ ) e área planejada para desmonte ( $m^2$ ) e tipo de rocha. O RQD, o  $Q$  e o tipo de rocha foram obtidos com o auxílio da equipe de geologia, sendo esses dados levantados após cada avanço. Na Tabela 1 é mostrado parte do banco de dados, que foi organizado em planilha eletrônica.

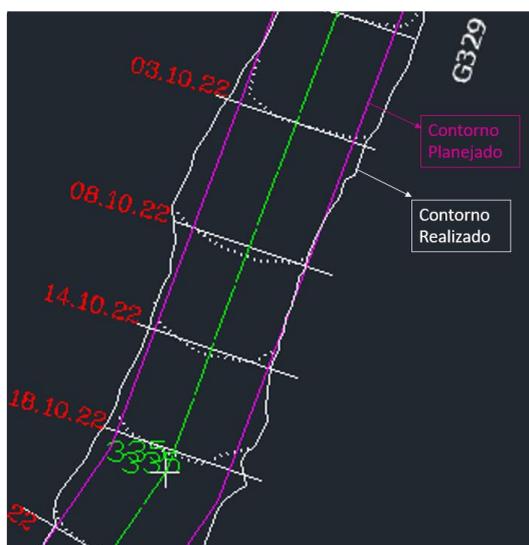


Figura 2. Vista de uma galeria com os avanços mapeados pela equipe de topografia, onde é possível identificar o contorno que foi planejado e o contorno que foi executado.

Tabela 1. Parte de banco de dados utilizado ao longo do trabalho.

| Galeria | Data     | Volume (m <sup>3</sup> ) | Avanço (m) | Área planejada (m <sup>2</sup> ) | Volume planejado (m <sup>3</sup> ) | Overbreak (%) | RQD  | Q   | Rocha   |
|---------|----------|--------------------------|------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------|------|-----|---------|
| R. Asc  | 05/07/22 | 92,18                    | 3,70       | 17,60                            | 65,12                              | 42            | 29,2 | 0,7 | Mármore |
| R370    | 08/07/22 | 59,98                    | 2,90       | 16,54                            | 47,97                              | 25            | 32,5 | 0,9 | Gabro   |
| R.Asc   | 09/07/22 | 119,86                   | 4,98       | 17,60                            | 87,65                              | 37            | 32,5 | 1,2 | Mármore |

### 3.2 Análise dos Dados

As análises realizadas nesse trabalho se dividem entre quantitativas e qualitativas. As análises quantitativas foram feitas através de regressão linear simples, a fim de verificar se há possibilidade de predição ou ao menos de explicação do *overbreak* pelas variáveis independentes: RQD, Q, área da galeria e avanço. Na etapa de análise qualitativa, foi feita uma discussão mais aprofundada a respeito de como variáveis utilizadas na análise quantitativa bem como outras variáveis não métricas, como o tipo de rocha, equipamento de perfuração utilizado e plano de fogo podem impactar nas taxas de *overbreak*, a partir de observações feitas no dia-a-dia da operação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise Quantitativa do *Overbreak*

As Equações 4, 5, 6 e 7 são, respectivamente, as equações determinadas pela análise de regressão para o *overbreak* com as variáveis, RQD, Q, Área (m<sup>2</sup>) planejada para a galeria (Área) e Avanço (m). Na Tabela 2 são mostrados os valores de R<sup>2</sup> e p-valor das variáveis independentes na regressão.

$$\text{Overbreak} = 0,439 - 0,00187 \times \text{RQD} \quad (4)$$

$$\text{Overbreak} = 0,421 - 0,0462 \times \text{Q} \quad (5)$$

$$\text{Overbreak} = 0,891 - 0,03204 \times \text{Área} \quad (6)$$

$$\text{Overbreak} = 0,139 + 0,06327 \times \text{Avanço} \quad (7)$$

Tabela 2. Significância das variáveis independentes das equações de regressão.

|                | RQD    | Q      | Área   | Avanço |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| R <sup>2</sup> | 0,0062 | 0,0085 | 0,0348 | 0,0584 |
| p-valor        | 0,254  | 0,181  | 0,0063 | 0,0004 |

Observando a Tabela 2, nota-se que as equações de regressão das variáveis geomecânicas com o *overbreak* não apresentam bom ajuste linear. Os valores de R<sup>2</sup> foram bem próximos de 0, o que significa que não é possível determinar o valor do *overbreak* com as variáveis RQD e Q através das equações lineares geradas pela análise de regressão (Equações 4 e 5). Além do mais, o p-valor foi maior que o 0,05, que indica que essas variáveis não são significativas na equação de regressão. A área planejada da galeria e o avanço apresentaram p-valores válidos para a análise, pois são menores que 0,05. No entanto os valores de R<sup>2</sup> não tiveram resultados satisfatórios, o que demonstra uma relação fraca entre esses parâmetros e o *overbreak*.

Era esperado que as variáveis geomecânicas apresentassem boas relações com o *overbreak*, visto que as características geotécnicas e qualidade do maciço podem estar relacionadas com as causas desse tipo de problema. No entanto, talvez essas relações não sejam lineares e por isso os resultados da regressão linear não foram satisfatórios. Além do mais, o *overbreak* não é um problema univariado, ou seja, não depende apenas de um ou outro parâmetro sozinho, mas sim de variáveis atuando em conjunto, no caso, variáveis geomecânicas e operacionais. O ideal para esse tipo de análise é que os parâmetros geomecânicos sejam analisados em conjunto com parâmetros operacionais.

Adiciona-se a isso, o fato de que as análises quantitativas foram feitas já considerando o valor final do RQD e do Q, mas não foram feitas análises considerando, as variáveis individuais que levam ao valor do Q ou mesmo do RQD. Talvez o valor final do Q não tenha uma relação linear com o *overbreak*, mas pode ser que o

número de famílias de descontinuidades, ou a condição de alteração das paredes das descontinuidades, ou o espaçamento, e outras variáveis, presente. Ressalta-se que no momento que essa pesquisa foi feita, esses dados não estavam disponíveis.

Embora a área planejada da galeria e o avanço tenham apresentado resultados melhores quando comparado com o RQD e o Q, ainda não foram relevantes para considerar que são relações significativas. De todo modo, ao observar as Equações 6 e 7 nota-se que a quanto maior a área planejada da galeria menor tende a ser o *overbreak*; já para avanços maiores, há também a tendência de se ter maiores taxas de *overbreak*.

Devido à baixa qualidade encontrada pelas equações de regressão linear entre o *overbreak* e as variáveis independentes, não será feita uma análise aprofundada dos resíduos nesse trabalho, afinal não é recomendável, independente de análise de resíduos, utilizar essas equações (4, 5, 6 e 7) para prever taxas de *overbreak*.

## 4.2 Análise Qualitativa do *Overbreak*

### 4.2.1 Tipo de Galeria e Plano de Fogo

Como os resultados das análises por regressão linear não foram efetivos, foi necessário analisar o problema de modo qualitativo, incluindo parâmetros não métricos e que, portanto, não foram previamente avaliados na etapa de regressão linear simples. Nessa fase de avaliação qualitativa, as discussões englobam aspectos observados no dia-a-dia de trabalho que aparentemente impactam nas altas taxas de *overbreak*.

Durante o período em que os dados foram coletados, a mina em estudo possuía a princípio 4 modelos de galerias, cada uma com suas respectivas dimensões (Tabela 3), sendo Rampa Principal, Galeria de Pesquisa, *Drive* que são galerias de produção, e Rampa Ascendente, cujo objetivo era atender a requisitos de ventilação. Consequentemente, o plano de fogo para cada tipo de galeria é diferente. Os *Drives* possuem dois tipos de malhas de perfuração que dependem do tipo de maciço, sendo 43 furos para maciços ruins e 49 furos em maciço bom; as galerias de pesquisas possuem malha de 43 furos; a malha para as rampas principais apresenta 59 furos e, por fim, 49 furos para a rampa ascendente.

De um modo geral, observa-se, que as rampas possuem uma taxa média de *overbreak* menor e as galerias de pesquisa possuem uma taxa média maior, 22% e 42% respectivamente (Figura 3). As Rampas Principais possuem áreas planejadas maiores e as Galerias de Pesquisa áreas menores, o que mostra que apesar de a regressão não ser significativa estatisticamente, a explicação extraída dela é verdadeira (Equação 6). O *overbreak* que seria considerado aceitável na mina é de 15%.

Tabela 3. Dimensões das galerias de desenvolvimento da mina estudada.

| Tipo de Galeria     | Área (m <sup>2</sup> ) | Perímetro (m) | Altura (m) | Largura (m) |
|---------------------|------------------------|---------------|------------|-------------|
| Galeria de Pesquisa | 15,08                  | 10,68         | 4,20       | 4,00        |
| <i>Drive</i>        | 16,54                  | 11,07         | 4,30       | 4,30        |
| Rampas Ascendentes  | 17,60                  | 11,56         | 4,60       | 4,30        |
| Rampa Principal     | 22,80                  | 13,60         | 5,00       | 4,70        |

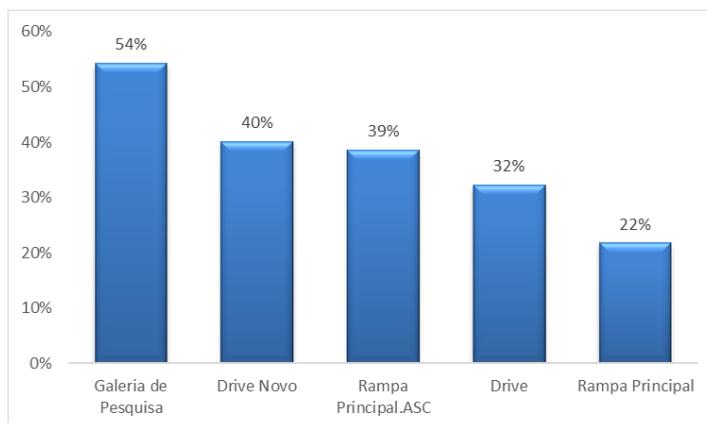


Figura 3. Média Anual do *overbreak* por galeria.

Entende-se por “*Drive novo*” uma galeria que possui as mesmas dimensões e mesmo plano de fogo que as Galerias de Pesquisa. Esse plano de fogo também é o mesmo aplicado para os *Drives* tradicionais escavados em maciços ruins. No entanto, os *Drives* possuem dimensões maiores que os *Drives* Novos. Essa pode ser uma das possíveis causas das maiores taxas de *overbreak* serem justamente nas Galerias de Pesquisa e nos *Drives* novos, afinal, é aplicado nessas galerias de dimensões menores o mesmo plano de fogo de galerias com dimensões maiores, mesmo que escavadas em maciços ruins.

Diante disso, pode ser que haja uma quantidade de energia maior que a necessária para o desmonte das Galerias de Pesquisa e dos *Drives* novos. Ressalta-se que no momento em que essa avaliação foi feita, já existia na empresa a intenção de iniciar os estudos a respeito dos planos de fogo utilizados durante o período deste trabalho.

#### 4.2.2 Tipo de Rocha

A mina em estudo possui variados tipos de rochas, entre elas as mais comuns são o mármore, gabro, serpentinito e cromitito; em algumas frentes de serviço, há mais de um tipo de rocha. Conforme mostrado na Figura 4, as frentes que possuem mais de um tipo de rocha têm maior média de *overbreak* quando comparado com uma frente com apenas um tipo de rocha.

Um fator que favorece a ocorrência do *overbreak* em frentes com mais um tipo de rocha, pode estar associado as zonas de contato, além das fraturas e também planos de falhas que atravessam os maciços de uma maneira geral, comprometendo a estabilidade da escavação.

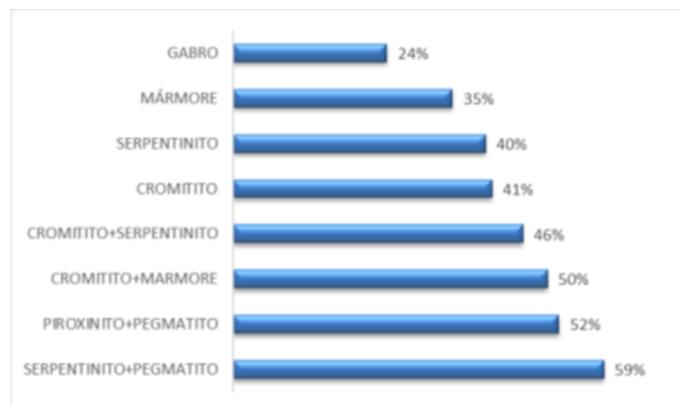


Figura 4. Médias do *overbreak* em relação ao tipo de rocha.

No entanto, não se deve avaliar o *overbreak* e o tipo de rocha de forma individualizada, pois o avanço da escavação e a redução de carga nos contornos da escavação são fatores orientados pela equipe de geologia de acordo com o tipo de rocha (Tabela 4).

Tabela 4. Médias dos avanços em relação ao tipo de rocha.

| Tipo de rocha            | Avanço médio recomendado por desmonte (m) |
|--------------------------|---|
| Piroxenito + Pegmatito   | 5,0                                       |
| Cromitito + Mármore      | 4,6                                       |
| Serpentinito + Pegmatito | 4,4                                       |
| Mármore                  | 4,0                                       |
| Cromitito + Serpentinito | 4,0                                       |
| Serpentinito             | 4,0                                       |
| Cromitito                | 3,7                                       |
| Gabro                    | 3,3                                       |

O gabro e cromitito são os que possuem a menor média de avanço, pois normalmente são rochas com condições mais críticas nessa mina e, conseqüentemente, requerem um maior controle da operação de escavação, com redução da quantidade de explosivo e também do avanço.

Nota-se que o gabro possui a menor taxa média de *overbreak* (Figura 4) e isso pode ter relação com o cuidado especial com a escavação nessa litologia e com os avanços reduzidos (Tabela 4), apesar de ser um maciço mais complicado. Já o cromitito, embora sejam tomados cuidados especiais durante a escavação, com avanços reduzidos, ainda apresenta uma taxa alta de *overbreak*.

Uma possível justificativa pode ter relação com as características do cromitito nessa mina, como o alto grau de fraturamento e discontinuidades preenchidas com carbonato de paredes lisas ou pouco rugosas, o que faz com que essas regiões tenham casos frequentes de formação de cunhas em condição cinemática para deslizar.

#### 4.2.3 Perfuração e Avanço

Os equipamentos de perfuração no desenvolvimento nessa mina são jumbos de dois braços e cada equipamento recebe um nome para melhor identificação, sendo JB11, JB12 e ALG193. Os jumbos JB11 e JB12 são do mesmo modelo; ALG193 é um outro modelo, mas todos do mesmo fabricante. A capacidade efetiva de perfuração dos jumbos JB11, JB12 e ALG193 é, respectivamente, 4,5m, 5,0m e 3,8m. Durante a coleta de dados, foi possível obter o avanço médio praticado por cada jumbo e o *overbreak* associado (Tabela 5) e também o *overbreak* médio para cada faixa de avanço (Tabela 6).

Tabela 5. Modelo de Jumbo relacionado com *overbreak* e avanço médio.

| Modelo de Jumbo | Média de <i>overbreak</i> (%) | Média de Avanço (m) |
|-----------------|-------------------------------|---------------------|
| JB11            | 42                            | 3,8                 |
| JB12            | 37                            | 3,8                 |
| ALG193          | 33                            | 3,6                 |

Tabela 6. *Overbreak* médio de acordo com o avanço.

| Avanço (m)  | Média de <i>overbreak</i> (%) |
|-------------|-------------------------------|
| Menor que 3 | 33                            |
| Entre 3 e 4 | 35                            |
| Entre 4 e 5 | 42                            |
| Maior que 5 | 45                            |

A Tabela 5 mostra que todos os equipamentos possuem uma elevada taxa média anual de *overbreak*. Isso ocorre devido à falta de calibração dos equipamentos, posicionamento incorreto do equipamento na galeria, problemas com as aberturas das lanças nos furos de contorno e posicionamento incorreto no emboque do furo. Com relação a falta de calibração, ressalta-se que durante a realização do trabalho, todos os equipamentos estavam sem os sensores responsáveis pela verificação e posicionamento correto das hastes no emboque dos furos, logo, os ajustes eram feitos manualmente pelos operadores, o que torna a operação sujeita a erros.

Conforme a Tabela 6, é notório que quanto maior o avanço, maior o *overbreak*. Esse fato já havia sido indicado pela Equação (7) de regressão linear, na etapa de análise quantitativa. Uma possível causa pode ser a abertura da escavação devido ao ângulo de inclinação da lança nos furos de contorno. É importante que os furos do contorno sejam inclinados, na ordem de de 3°, de modo a provocar propositalmente uma abertura na escavação a fim de evitar o estreitamento da galeria a medida em que a escavação avança.

No entanto, problemas como falta de calibração do equipamento e, conseqüentemente, o posicionamento incorreto no emboque do furo podem fazer com que o ângulo de inclinação seja maior que o necessário, além de desvios de furo. Em campo, foram observados também furos com afastamentos diferentes do planejado e com diferentes ângulos, o que torna o plano de fogo executado diferente do planejado, contribuindo para o surgimento de *overbreak*.

## 5 CONCLUSÕES

Durante a realização desse trabalho, foi possível perceber que um dos maiores problemas encontrados nas escavações de desenvolvimento é o *overbreak*. Sabendo das conseqüências tanto em termos econômicos

quanto em termos de segurança que o *overbreak* pode trazer, é justificável avaliar os principais fatores que tem relação com esse indicador, a fim de se tentar reduzir o problema.

Através da etapa de análise de dados por regressão linear simples, foi observado que não há relação linear univariada entre as variáveis geomecânicas, RQD e Q, com o *overbreak*. Também não foi possível identificar uma relação adequada através de regressão linear simples entre o *overbreak* e a área planejada para a seção (m<sup>2</sup>) e o avanço (m), embora tenha havido uma indicação, já nas equações de regressão, de que quanto maior a área da seção, menor tende a ser o *overbreak* e que quanto maior o avanço, maior tende a ser o *overbreak*. Essa indicação ficou mais evidente na etapa de análise qualitativa, onde essas variáveis foram avaliadas em conjunto com o plano de fogo aplicado para cada tipo de galeria, tipo de equipamento utilizado na perfuração e avanço.

Ainda na etapa de análise qualitativa, foi identificado que o *overbreak* tem relação com o tipo de rocha, onde foi possível identificar que regiões de contato entre duas litologias tendem a apresentar as maiores taxas. No entanto, ainda nessa fase, foi verificado que o tipo de rocha não deve ser avaliado sozinho, visto que as orientações quanto ao avanço (m) que deve ser praticado, bem como a carga de explosivos nos furos do contorno são vinculadas ao tipo de rocha e também ao tipo de galeria.

Diante disso, pode-se concluir que o *overbreak* não é um problema univariado, mas sim multivariado e que depende de variáveis geológicas, geomecânicas e operacionais. É importante que em trabalhos futuros, sejam medidos o máximo possível de variáveis e que novas análises sejam feitas, mas de forma multivariada, seja por estatística, ou técnicas de aprendizado de máquina e inteligência artificial.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal da Bahia e a empresa que cedeu os dados para a realização dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barton, N., Lien, R.; Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of rock support. *Rock Mechanics* v. 6, p. 189-236.
- Charnet, R.; Freire, C. A. L.; CHARNET, E. M. R.; BONVINO, H. *Análise de modelos de regressão linear: com aplicações*, 2ª edição, Campinas, Editora da UNICAMP, 2008.
- Deere, D.U., Hendron, A.J., Patton, F.D. and Cording, E.J. (1967). Design of surface and near surface construction in rock. *Failure and breakage of rock, proc. 8th U.S. symp. Rock mech.*, (ed. C. Fairhurst), p. 237-302.
- Franklin, J.A., Ibarra, J.T. & Maerz, N.H. (1989). Blast overbreak measurement by light sectioning. *International Journal of Mining and Geological Engineering* 7, 323–331 (1989). <https://doi.org/10.1007/BF00896596>
- Hair, J.F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L. 2009. *Análise Multivariada De Dados*. Porto Alegre: Bookman, 688 P.
- Hoffmann, R. (2016) *Análise de regressão: uma introdução à econometria [recurso eletrônico]* / Rodolfo Hoffmann. 5. ed. Piracicaba Universidade de São Paulo/USP. 393 p.
- Jang, H. & Topal, E. (2013). Otimizando a previsão de overbreak com base em parâmetros geológicos comparando análise de regressão múltipla e rede neural artificial. *Tunneling and underground space technology* , 38, 161–169
- Santos, T.F. (2021) *Análise do overbreak e underbreak das escavações das galerias da mina subterrânea Fazenda Brasileiro*. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia de Minas, Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia/UFBA, 83p.