

## Avaliação de Risco de Trancamento de Furos de Produção com Base em Características Geológicas e Geotécnicas do Maciço Rochoso da Mina Cuiabá

Bruna Souza <sup>1</sup>; Rodrigo Padula <sup>2</sup>; Lucas Vita <sup>3</sup>

**Resumo** – A qualidade do desmonte da lavra é diretamente associada à qualidade da perfuração, a qual deve ser estrategicamente planejada de modo a garantir uma alta recuperação de minério e baixa diluição operacional. Além de fatores como tipo de equipamento, emboque, profundidade e ângulo de cada furo, as características do maciço também consistem em condicionantes relevantes para uma lavra de alta qualidade. Ao identificar problemas que causem dificuldade para a operação de mina, devem ser levantados potenciais causadores da condição observada para que sejam tomadas decisões prévias a fim de minimizar os possíveis impactos no plano de produção. Litologia, geologia estrutural e classificação geomecânica são alguns dos fatores que podem influenciar a reologia dos maciços e, por isso, devem ser avaliadas com minúcia para planejar uma escavação subterrânea.

**Abstract** – Mining blast quality is directly associated with drilling quality, which must be strategically planned to ensure a high ore recovery and a low operational dilution. In addition to factors such as type of equipment, collar, depth and angle of each hole, the rock mass' characteristics also consist of relevant conditions for a high quality mining. When identifying problems that cause difficulties for the mine operation, potential causes of the observed condition must be identified so that prior decisions can be taken in order to minimize possible impacts on the production plan. Lithology, structural geology and geomechanical classification are some of the factors that can influence the rheology of the rock mass and, therefore, must be carefully evaluated to plan an underground excavation.

**Palavras-Chave** – Mecânica de Rochas; classificação geotécnica; mineração subterrânea; modelo de blocos

---

<sup>1</sup> Eng. Geól., AngloGold Ashanti, - Mina Cuiabá, bpsouzal@anglogoldashanti.com

<sup>2</sup> Geól., MSc, AngloGold Ashanti, - Mina Cuiabá, ropadula@anglogoldashanti.com

<sup>3</sup> Estag., AngloGold Ashanti, - Mina Cuiabá, lucas.vita@aluno.ufop.edu.br

## 1. INTRODUÇÃO

A definição de maciços rochosos consiste em um conjunto de rochas intactas limitadas por suas descontinuidades, de modo que, do ponto de vista geomecânico, o comportamento de um maciço sofre influência direta condição das descontinuidades, presença e água e campo de tensões que atua regionalmente (ABGE, 2018). Levando-se em conta que a maioria dos maciços são descontínuos, heterogêneos e anisotrópicos, a estabilidade de escavações subterrâneas, se torna um grande desafio para as obras de engenharia.

O método de lavra de *Sublevel Stopping* consiste na abertura de galerias sobrepostas, chamadas de subníveis, desenvolvidos no corpo de minério ou em seus contatos com a encaixante (*hanging wall* e *foot wall*) (Fernberg, 2007). A recuperação da lavra acontece por meio de desmontes com explosivos entre esses subníveis e, por vezes, faz-se necessária a alocação de pilares horizontais (*sill pillars*) e verticais (*rib pillars*) de modo a garantir a estabilidade dos vãos abertos. A Figura 1 mostra a configuração típica de um painel nos corpos *narrow veins* na Mina Cuiabá.

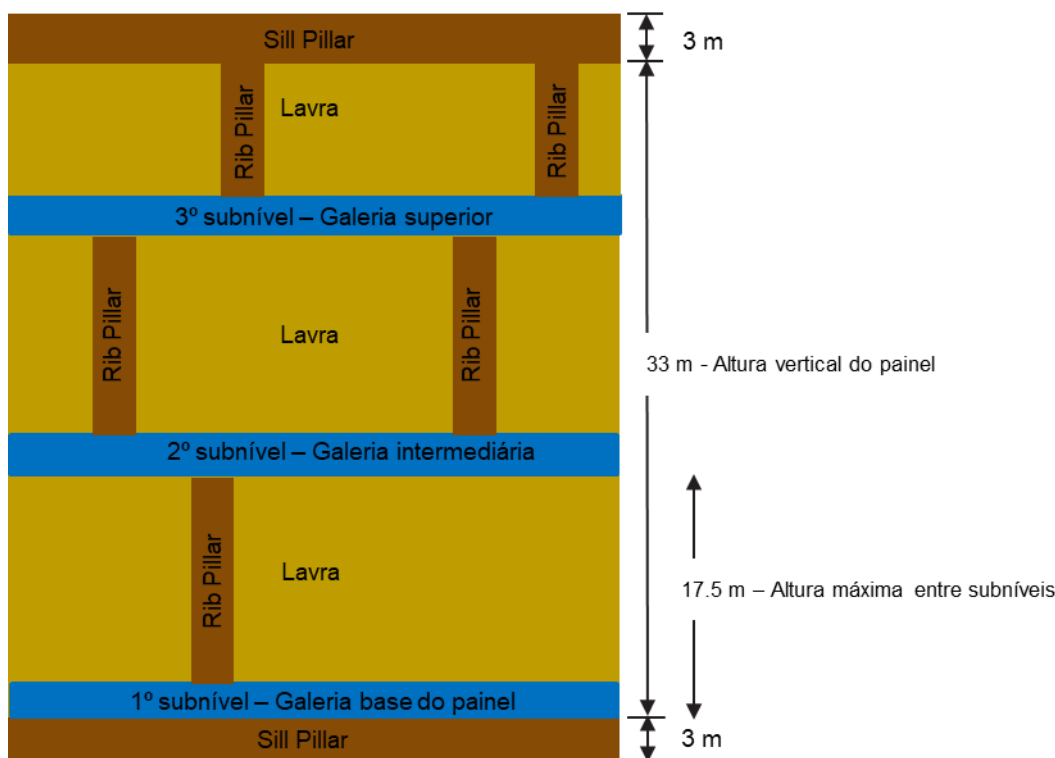


Figura 1. Painel típico utilizado para *sublevel stopping* nos corpos *Narrow Veins* da Mina Cuiabá (Adaptado de Costa 2017).

A qualidade do desmonte da lavra é diretamente associada à qualidade da perfuração, a qual deve ser estrategicamente planejada de modo a garantir uma alta recuperação de minério e baixa diluição operacional. Além de fatores como tipo de equipamento, emboque, profundidade e ângulo de cada furo, as características do maciço também consistem em condicionantes relevantes para uma lavra de alta qualidade.

Durante a perfuração da área 1 (A1) do nível 14.1 BAL 1º subnível (SN) lado direito (LD), a 930 metros de profundidade, o fechamento de furos de produção foi um grande problema enfrentado pela operação de mina, de modo que, após a perfuração dos furos de produção, não era possível realizar o carregamento para desmonte devido à obstrução desses furos. Além disso, era comum que as hastes do equipamento ficassem travadas dentro do maciço, indicando que em

alguns casos o trancamento dos furos era instantâneo após a perfuração. A Figura 2 mostra fotografias internas de furos obstruídos nessa região.

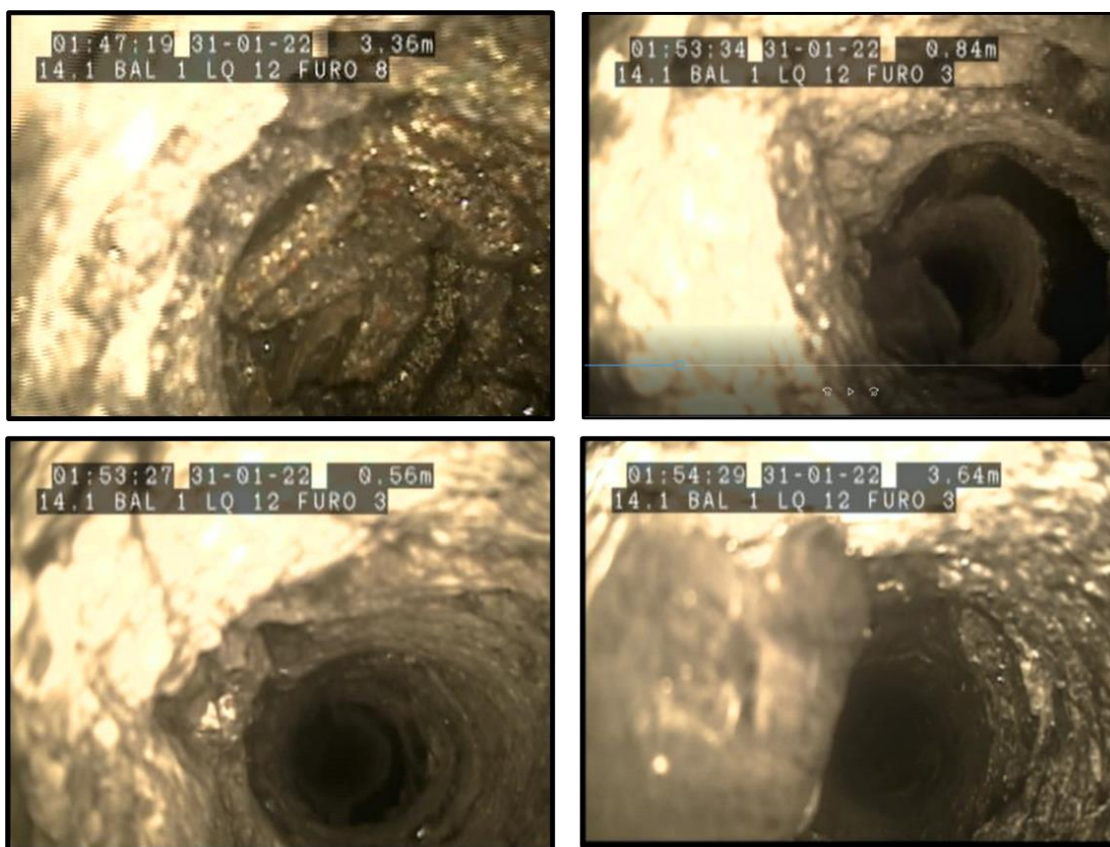


Figura 2. Fotografias de furos de produção obstruídos na região do 14.1 BAL 1º SN LD Área 1.

Com base nas características geológicas e geotécnicas observadas nessa área, foram realizadas retro análises com outros *stopes* que apresentaram o mesmo problema de fechamento de furos. A partir da correlação entre essas regiões, foi definida também uma metodologia para classificação do risco de trancamento em futuras áreas de lavra da mina, em especial na porção remanescente do 14.1 BAL 1º SN.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

### 2.1. Caracterização geológica

A Mina Cuiabá localiza-se na porção norte do Quadrilátero Ferrífero, no contexto do Supergrupo Rio das Velhas, e é estruturalmente dominada por uma megadobra anticlinal tubular que mergulha aproximadamente 35° para sudeste. A mineralização de ouro é associada a sulfetos maciços (S) ou disseminados em uma formação ferrífera bandada (BIF), rochas de resistência à compressão uniaxial (UCS) de aproximadamente 200 MPa, com encaixantes compostas por rochas metavulcânicas e metassedimentares, além de uma ocorrência frequente de veios de quartzo (QZ). Os corpos Balancão (BAL) e Galinheiro (GAL), do tipo *narrow veins*, estão localizados no flanco norte da dobra e apresentam uma sequência estratigráfica em que o *hanging wall* é composto por xistos carbonáticos e sericíticos (X2CL/X2), UCS de aproximadamente 70 MPa, enquanto o *foot wall* é composto por xisto grafitoso (XG) com UCS médio de 50 MPa.

A sequência de eventos tectônicos que culminaram na estruturação dos corpos BAL e GAL resultou na formação de duas foliações subparalelas de mergulho para SE, conhecidas como S1 e S2, uma clivagem de crenulação com direção N-S, denominada S3, e eixos de dobra ao longo do

plunge. Associado aos eventos deformacionais e de mineralização da região, é possível observar na mina porções de rompimento da BIF e de estreitamento do corpo mineralizado, nas quais são observadas zonas de *boudins*. A Figura 3 indica a distribuição dos principais corpos de minério da mina, destacando os corpos *narrow veins*.

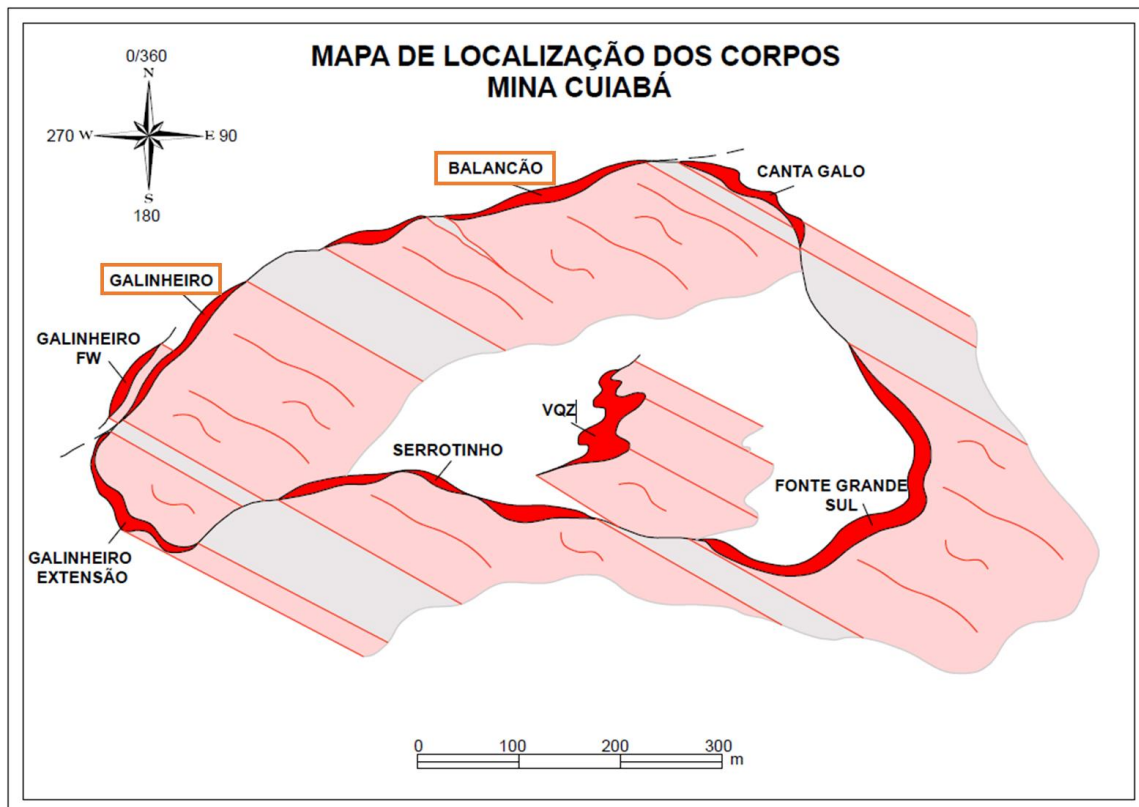


Figura 3. Esquema de distribuição dos corpos de minério da Mina Cuiabá (AngloGold Ashanti 2018).

## 2.2. Caracterização geotécnica

Dois dos sistemas de classificação de rochas utilizados em Cuiabá consistem no Índice de Qualidade de Tunelamento Modificado, ou  $Q'$  (Barton, 1974), e Rock Mass Rating (RMR) (Bieniawski, 1973). Para o presente trabalho foi utilizada a metodologia do RMR por ser um sistema que aplica mais fatores para caracterização das descontinuidades e apresenta maior correlação com a diluição na mina, mostrando ser um condicionante relevante para a estabilidade das escavações.

## 3. METODOLOGIA

Durante as investigações do 14.1 BAL 1º SN LD A1, por meio de modelos de blocos baseados em furos de sondagem, foi observado que essa era uma área composta majoritariamente por S e QZ com uma lente de XG no *footwall*, majoritariamente por teores elevados ( $> 10$  g/ton) e RMR classe II inferior ( $RMR < 70$ ). Além disso, estruturalmente nessa área havia a presença de um eixo de dobra mapeado próximo ao stope e corpo boudinado tanto horizontal, quando verticalmente. A Figura 4 ilustra os parâmetros observados na região.

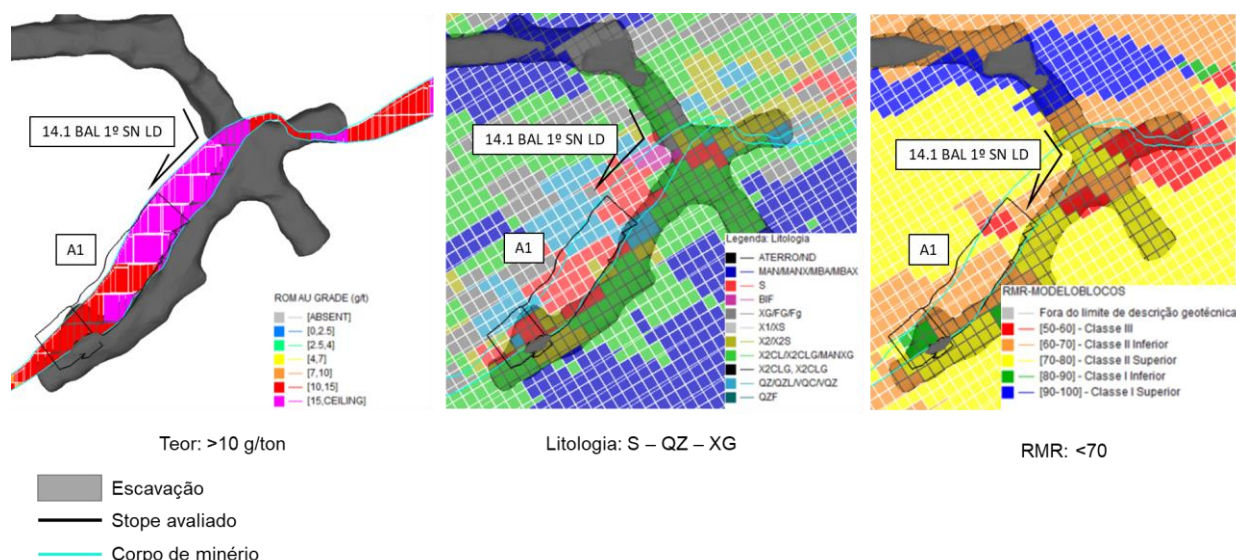


Figura 4. Modelos de blocos de teor, litologia e classificação geomecânica utilizados para as avaliações.

A partir de um banco de dados de 2020 e 2021, foi realizada uma retro análise com 13 stopes nos quais foi observado o mesmo problema de trancamento de furos de produção e, de todos os blocos avaliados, 12 apresentaram as mesmas características que o 14.1 BAL 1º SN LD A1. Com base nessas informações, foi criada uma matriz de risco para avaliar áreas em condições similares, identificar o potencial de trancamento de cada uma e atuar de forma preventiva para atenuar os possíveis impactos no plano de produção. A matriz de risco desenvolvida está indicada na Tabela 1, mostrando os parâmetros e o risco de cada um deles.

Tabela 1. Matriz de risco utilizada para avaliar risco de trancamento de furo.

Parâmetro/Peso	2	1	0
C1 – RMR	<60	60<RMR<70	RMR>70
C2 - Litologia	QZ + S + XG	S + XG	Outras
C3 - Estrutural	<i>Boudin</i> + eixo de dobra	<i>Boudin</i> ou eixo de dobra	Sem estrutura geológica
C4 - Teor	>10 g/t	10 > teor > 7 g/t	<7 g/t

$$C1 + C2 + C3 + C4 = \text{Nota risco}$$

#### 4. RESULTADOS

A matriz de risco destacada acima foi aplicada para 6 stopes do 14.1 BAL 1º SN lado esquerdo (LE), outra região do mesmo painel de lavra. As Figuras 5, 6 e 7 a posição desses stopes em relação área piloto de utilização da metodologia e os resultados dos modelos de blocos dos parâmetros utilizados para avaliação dentro do limite de cada stope.

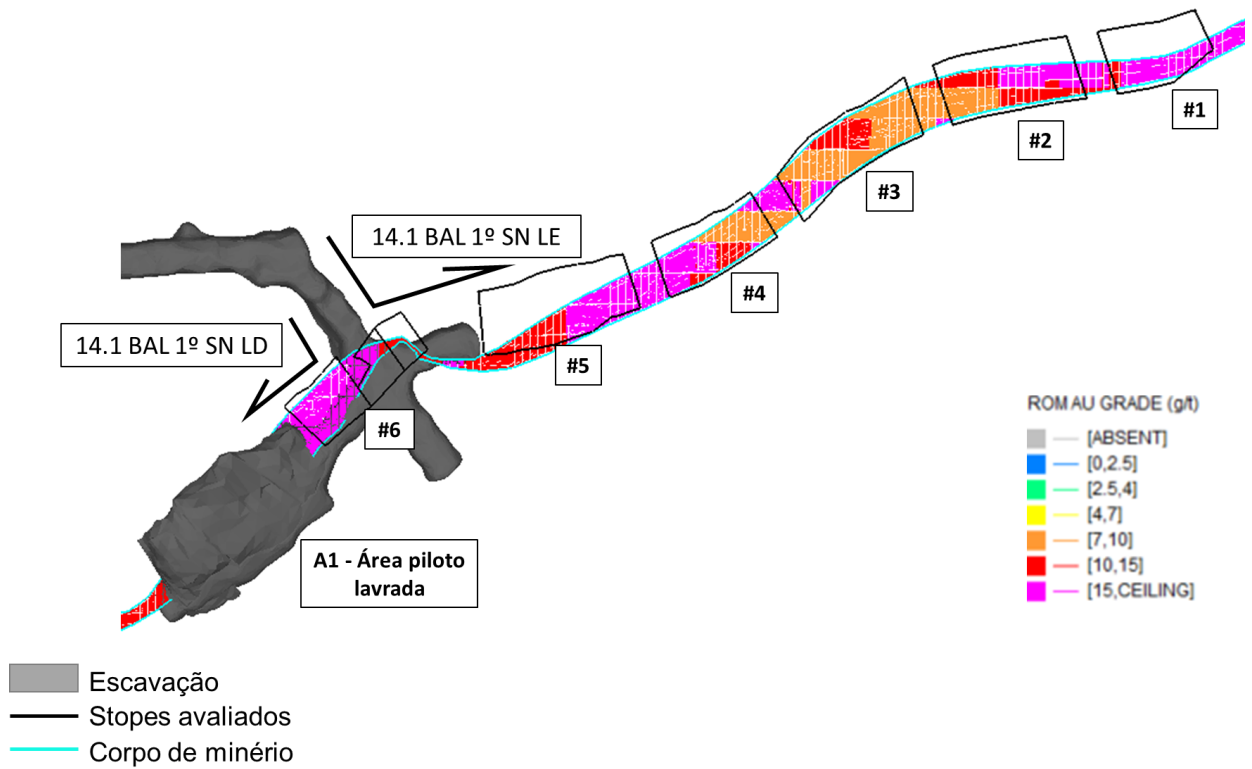


Figura 5. Layout dos stopes 14.1 BAL 1º SN LE e modelo de blocos de teor utilizado na avaliação.

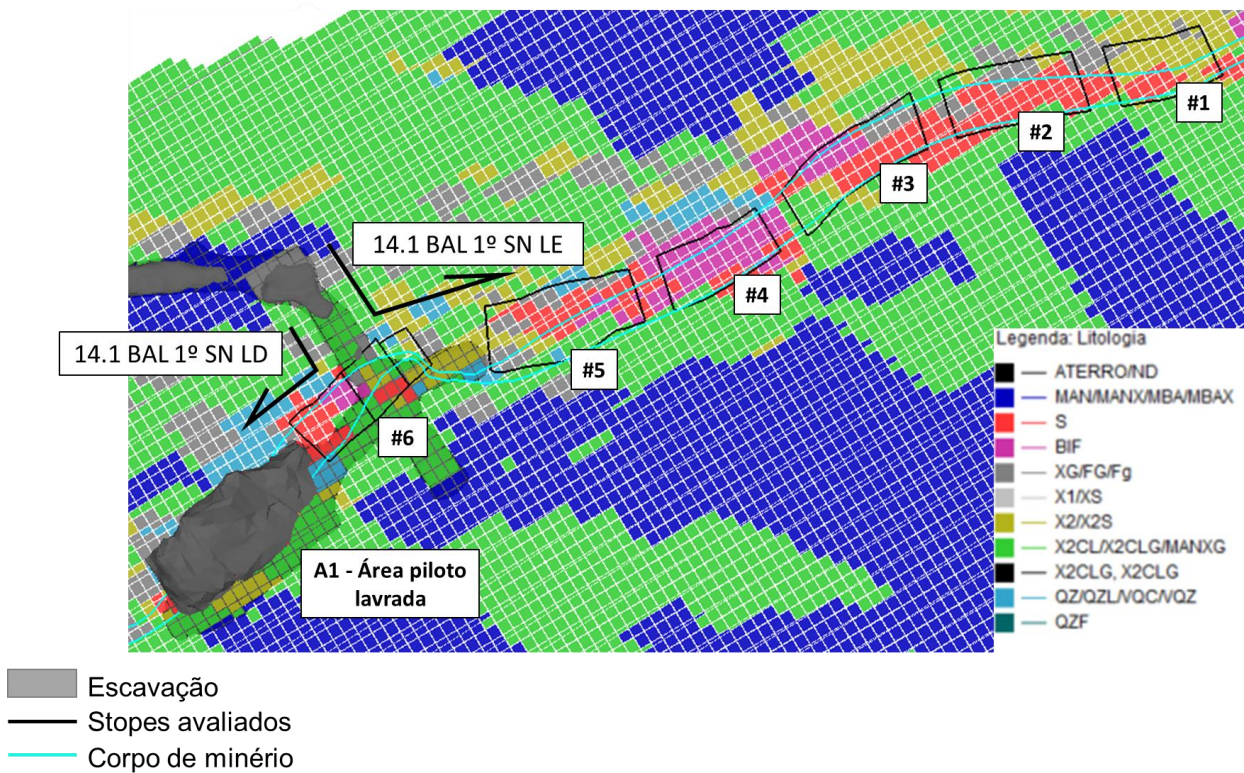


Figura 6. Layout dos stopes 14.1 BAL 1º SN LE e modelo de blocos litológico utilizado na avaliação.

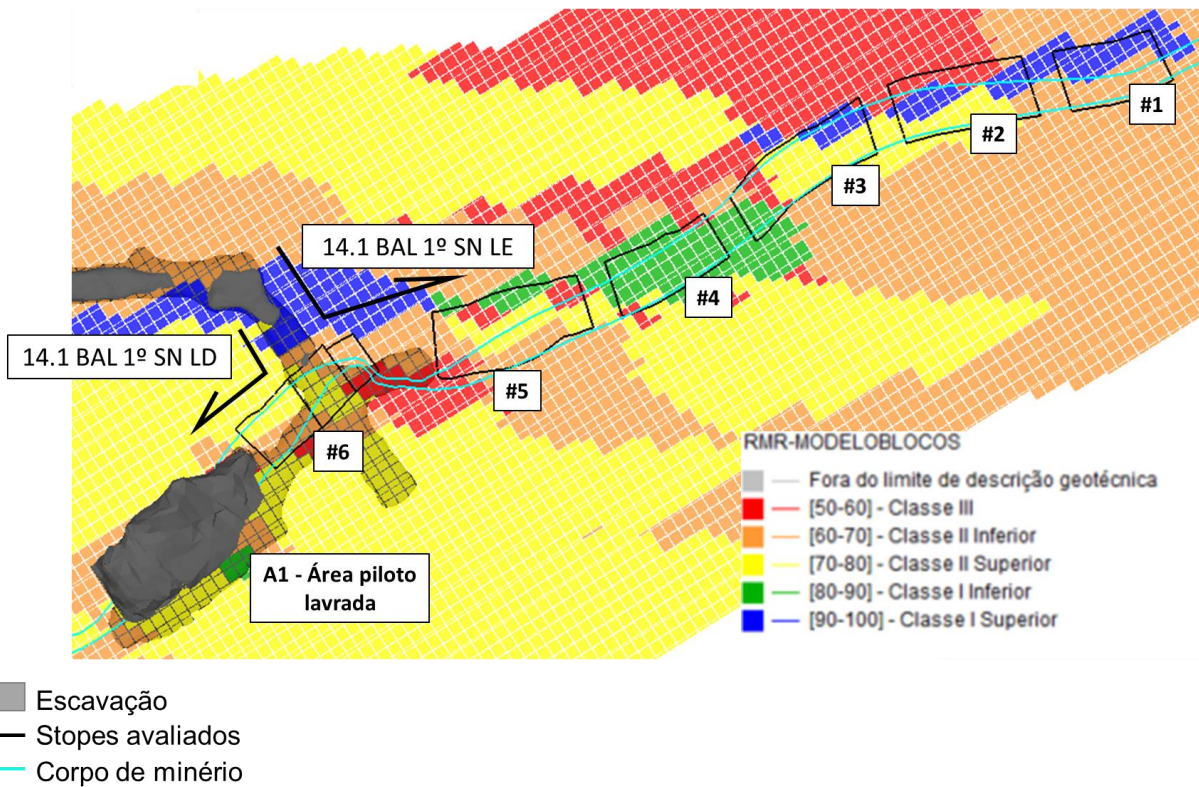


Figura 7. Layout dos stopes 14.1 BAL 1º SN LE e modelo de blocos de classificação geomecânica utilizado na avaliação.

Com base nos resultados obtidos com os modelos e análises estruturais, os parâmetros de cada área foram ponderados e o risco de trancamento foram definidos. A Tabela 2 mostra a penalização e os resultados obtidos para cada bloco de lavra.

Tabela 2. Penalização de cada parâmetro e risco associado a cada stope.

Sequência de lavra	C1 – RMR	C2 – Litologia	C3 – Estrutural	C4 – Teor	Nota de risco
#1	1	0	0	2	3
#2	0	1	0	2	3
#3	2	1	0	1	4
#4	0	1	0	2	3
#5	2	1	2	2	7
#6	2	2	2	2	8

Os stopes de fechamento do painel, #5 e #6, foram as áreas que apresentaram maior risco de trancamento de furos, enquanto as demais áreas apresentaram risco de fechamento mais baixo. Pela metodologia utilizada, nenhum parâmetro possui maior relevância que outro, de modo que stopes com características diferentes podem possuir o mesmo nível de risco, como é o caso dos stopes #1, #2 e #4, que foram classificados com a nota mais baixa. Para o stope #3 o risco ponderado foi de nível intermediário.

## 5. CONCLUSÕES

Estes resultados mostram a importância do conhecimento geológico e geotécnico para investigação e solução de problemas operacionais na mineração. Com base em um padrão de comportamento do maciço durante a perfuração para produção, foi possível identificar

características que também se repetiram em áreas problemáticas e que, em conjunto, seguramente influenciaram o fechamento dos furos.

De acordo com a metodologia aplicada, dois dos stopes avaliados apresentam risco mais elevado de trancamento de furo, devendo, dessa forma, ser aplicada uma taxa de perfuração menor nesses blocos e ser avaliada mudanças de layout de galeria e lavra que podem minimizar os possíveis impactos, favorecendo assim a produção do minério. Ademais, é importante destacar que, apesar de nenhum dos casos avaliados apresentarem um risco nulo, todos os blocos do painel devem ser acompanhados com alto grau de atenção durante a operação.

Como o modelo de blocos foi baseado em furos e sonda, é essencial que os dados sejam atualizados a partir de novas descrições de testemunhos, tanto geológica quanto geotécnica. Além disso, após perfuração desses stopes deverá ser realizada uma nova retro análise para validação da metodologia aplicada e da ponderação de cara parâmetro.

## REFERÊNCIAS

ABGE (2018). “*Geologia de Engenharia e Ambiental*”. 912 p.

ANGLOGOLD ASHANTI (2018). “*Análises de estabilidade para utilização dos parâmetros de lavra*”. Sabará. 47 p.

COSTA, L. (2017). “*Metodologia para prever e reduzir o risco de diluição não planejada em lavras estreitas pelo método sublevel stoping. Estudo de caso: Mina Córrego do Sítio, Santa Barbara/MG*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 153 p.

FERNBERG, H. (2007). “*Mining Methods in Underground Mining*”. 140 p.