

MAXIMIZAÇÃO DO LAYOUT DE PILARES NO MÉTODO DE LAVRA SUBLEVEL STOPING

MAXIMIZING PILLAR LAYOUT IN SUBLEVEL STOPING MINING METHOD

GUSTAVO ANTONIO PEREIRA BATISTA

Engenheiro Geotécnico, Perth, Austrália. GAPBatista@gmail.com

ANDRÉ PACHECO DE ASSIS

Professor Dr. na Universidade de Brasília – UNB, Brasília, Brasil. AAssis@unb.br

KOBUS DU PLOOY

Engenheiro Geotécnico, AngloGold Ashanti, Perth, Austrália. KDPlooy@anglogoldashanti.com

JAIRO HENRIQUE DA SILVA

Geólogo, AngloGold Ashanti, Crixás, Brasil. JHSilva@anglogoldashanti.com.br

JOÃO EDUARDO FOCHI RAMIRES

Geólogo, AngloGold Ashanti, Crixás, Brasil. JESilva@anglogoldashanti.com.br

RESUMO ABSTRACT

Os impactos da diluição não planejada em uma mina subterrânea de veio estreito são muito significantes, além de acarretar elevação do custo e redução do teor médio, esse impacto pode causar *déficits* financeiros, inviabilizando a operação. Várias alternativas foram criadas para determinar a diluição de uma área planejada, entre elas existem métodos empíricos, métodos por regressão linear e métodos numéricos. Todas essas técnicas devem estar alinhadas com as observações e resultados reais de instabilidade. Desta forma é apresentado casos de instabilidade no método de lavra *sublevel stoping* a 750 m de profundidade e os impactos da diluição, quantificados-os e determinando os fatores que as ocasionaram. Baseado nas evidências foi proposto um novo *design* de lavra modificando os pilares com o intuito de reduzir a diluição não planejada e aumentar a produtividade. Quatro exemplos com o novo *layout*, a uma profundidade de 800 m, foram analisados tornando possível determinar as condições de instabilidade da região de lavra, quantificar a diluição não planejada e comparar os resultados do *layout* antigo, além de demonstrar os ganhos na performance operacional e na redução da diluição.

Palavras-chave: Diluição não planejada, Reconciliação da lavra, Veio Estreito, Desempenho de diluição do *stope*.

The impacts of unplanned ore dilution in a narrow vein underground mine are very significant, in addition to cost and reduction of the average content, this impact can cause financial deficits making the operation unfeasible. Some alternatives have been created to determine the dilution of a planned area, among them there are empirical methods, methods by linear regression and numerical methods. All of these techniques must be in line with the actual instability observations and results. In this way, cases of instability are presented in the mining method *sublevel* at 750 m depth and the impacts of the dilution, quantified and determining the factors that caused it. Based on the evidence, a new mining design has been implemented in order to reduce unplanned dilution and increase productivity. Four cases the new layout at a depth of 850 m were analyzed, turning possible the determination of the instability conditions of the *stopping* areas, quantifying the unplanned dilution, comparing the results with the old layout ones, beyond the demonstration of gains in the operational performance, and decreasing the dilution levels.

Keywords: Unplanned dilution, Stope reconciliation, Narrow vein, Stope dilution performance.

1 INTRODUÇÃO

Representante de cerca de 4,4% da produção total de ouro do Brasil e a maior extratora de ouro no estado de Goiás, a Mineração Serra Grande (MSG) pertencente a AngloGold Ashanti (AGA) está localizada a Noroeste do estado de Goiás e a Sul da cidade de Crixás - GO, com operações subterrâneas e a céu aberto. A cidade de Crixás fica localizada a 320 km da capital do estado de Goiás e a 400 km da Capital Federal.

Uma forma de avaliar a qualidade do método de lavra é realizar a análise de aderência entre a diluição esperada e a observada nas áreas lavradas, identificando as regiões com alta e baixa aderência. A diluição na mineração é definida como a contaminação do minério com rocha estéril, provocando uma redução do teor da substância útil no minério lavrado. Na lavra subterrânea, ela pode ser dividida em diluição planejada, interna ou primária, e diluição não planejada, externa operacional ou secundária, conforme Charbel, (2015). A diluição não planejada ou operacional consiste no estéril que se posiciona além dos limites do realce planejado, sendo retratada no artigo apenas como diluição.

Costa (2017) definiu por meio de um diagrama as principais causas de uma diluição elevada, entre elas o autor cita: o desenvolvimento das galerias com a exposição do minério; projetos de perfuração para a distribuição da carga de explosivos; treinamento de operadores e verificação de equipamentos; carga máxima por espera na etapa de desmonte; método de dimensionamento do suporte; método para dimensionamento dos vãos dos realces de lavra; e verificação do controle de qualidade do sistema de suporte.

Sendo assim, a alta diluição operacional pode ser proveniente de baixa previsibilidade destes fatores na avaliação econômica dos realces e, desta forma, um valor de diluição variável, a depender das suas características, aumenta a assertividade desta etapa.

Nas últimas décadas, a indústria mineral subterrânea vem adotando estratégias na recuperação do bem mineral em larga escala, métodos esses que propiciam aberturas de grandes dimensões em subsolo. No Canadá, o método *Open Stope* foi responsável por cerca de 90% da produção

em tonelagem de minério recuperado de minas de metais, segundo Potvin (1998). A popularidade desse método pode ser justificada pelo grande nível de produção, assim como a possibilidade de estabelecer alto nível de mecanização ao processo, melhorando assim sua produtividade.

Para se estimar a estabilidade dos realces, usualmente é adotado o método do gráfico de estabilidade, porém esse método pode ter uma baixa confiabilidade para prever o valor de diluição em realces estreitos, uma vez que não leva em consideração esta característica. Este método, inicialmente proposto por Mathews *et al.* (1981), era restrito a minas com profundidade abaixo de 1.000 m. Os bancos de dados utilizados no gráfico de estabilidade proposto por Mathews *et al.* (1981) e no gráfico de estabilidade modificada por Potvin (1988) continham poucos casos de realces estreitos, o que tornava necessário uma revisão das áreas de estabilidade para cada empreendimento. Da Silva (2018) descreve como esses métodos podem ser empregados em um ambiente de mineração, realizando as modificações necessárias a partir do banco de dados local.

A Mineração Serra Grande, terceira maior produtora de ouro do Brasil, contempla 20% de diluição não planejada no seu plano de lavra. Com desenvolvimento das análises geotécnicas, o potencial de redução é significativo, sendo que, a redução de um ponto percentual representa redução de US\$310.000,00 por ano, apenas com custo de transporte e beneficiamento metalúrgico para a MSG. Assim, os projetos de geotécnica devem compreender a estabilidade dos realces de lavra, visando a segurança e o custo envolvido no processo.

A comparação com o comportamento real é a única maneira de confirmar a eficácia de qualquer método de estabilidade. Usando técnicas baseadas em evidências, as percepções das causas de instabilidade facilmente podem ser notadas e novos *layouts* podem ser propostos baseados nas compreensões das áreas instáveis.

2 OBJETIVO

A prática de simular cenários diferentes para melhorar a relação econômica do ativo deve ser uma prática essencial ao geotécnico. Com esse objetivo, será demonstrado como o *layout* de

pilares determina a performance na lavra no método *sublevel stoping* da Mineração Serra Grande, comparando-se os resultados da diluição por meio da aderência do planejado com o executado de dois *layouts* de pilares distintos, determinando as estruturas que condicionam a instabilidade e quantificando as perdas envolvendo a ineficiência de cada *layout*.

3 METODOLOGIA

A metodologia baseia-se na reconciliação de duas áreas de lavra com *layout* distintos de pilares, a partir da comparação da escavação realizada com a escavação planejada, a fim de identificar a influência das discontinuidades em seu resultado final. Normalmente, quando o desempenho de uma lavra é condicionado por qualquer sistema de fraturas, essas estruturas limitam as superfícies da escavação. Como o mapeamento estrutural é realizado em todas as escavações da MSG, é possível verificar se alguma dessas estruturas está condicionando a instabilidade.

O *software* Gem4D da BasRock foi usado para executar a reconciliação. Este *software* permite fazer comparações entre dois sólidos diferentes medindo a distância real entre eles. Também é possível verificar se existe uma orientação preferencial dos triângulos a partir do modelo de sólidos, o que auxilia na identificação de possíveis estruturas que não foram observadas durante o mapeamento. Da Silva (2019) descreve como o *software* pode contribuir para a interpretação geotécnica nos realces e conseqüentemente na identificação das estruturas que condicionam a instabilidade.

Para exemplificar a metodologia, a Figura 1 contém cenas que foram capturadas com *scanner* topográfico da evolução de uma lavra no método *sublevel stoping*, verificando a face lavrada e ressaltando a diluição com o planejado em cinza. Com os dados é possível identificar o vão que ocorre instabilidade, determinar as estruturas que condicionam instabilidade e quantificar a massa lavrada e a diluição.

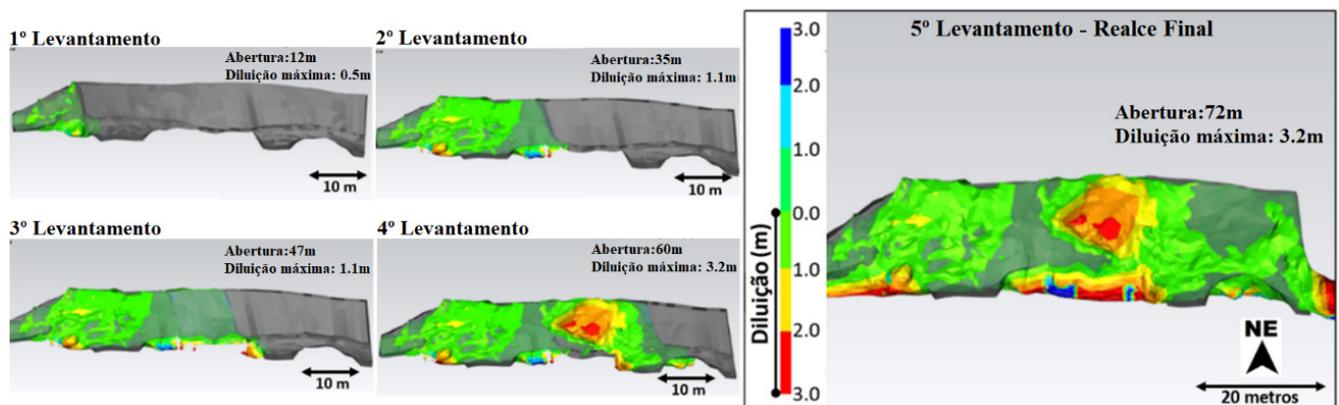


Figura 1. Evolução da lavra no método *sublevel stoping* destacando a diluição com o avanço da lavra.

É possível interpretar que a área planejada de lavra com 72 m de comprimento manteve-se estável até o levantamento topográfico com abertura de 47 m, sua estabilidade é representada pela cor verde com a distância da face planejada com escavação inferior a um metro. Da cena de 47 m para 60 m ocorreu uma diluição no *hangingwall* (HW), representado pelas cores quentes com distância de até três metros da face planejada. Por fim, a lavra

prosseguiu até os 72 m ocorrendo diluição localizada no realce lavrado.

De forma a entender a geometria da instabilidade, foi possível visualizar três estruturas que condicionaram a quebra, sendo determinadas pela foliação e duas juntas, ocasionando diluição de até 3.2 m, conforme Figura 2 na seção B. Na seção A da mesma imagem a diluição é controlada por desvios de perfuração ou carregamento excessivo.

sivo de explosivo, já que a geometria é bastante irregular. Devido principalmente a instabilidade pontual, a diluição do realce lavrado constituiu em 29.2%, representando uma massa de 2.366 to-

neladas não planejadas. As duas juntas foram mapeadas por suas referências na superfície da escavação, determinando suas orientações conforme mostrado na Figura 2.

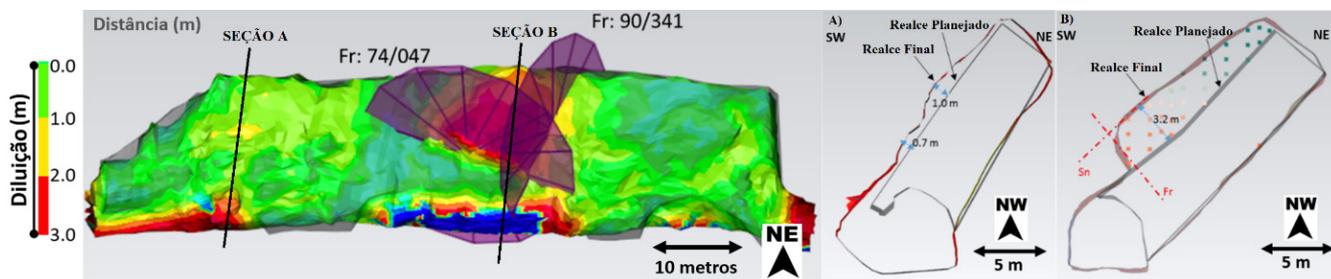


Figura 2. Seções no realce lavrado exemplificando na Seção A diluição baixa, aderente a lavra e na Seção B diluição controlada estruturalmente com as fraturas identificadas na região de maior instabilidade.

Com intuito de maximiar o layout e extrair a maior quantidade de conteúdo metálico do depósito, dois layouts são sugeridos para lavra da Mina 3 da MSG. A proposta de lavra baseia no método *Sublevel Stopping* que tem sido amplamente utilizado nesta empresa, contribuindo atualmente com mais de 80% da produção planejada. A variação do método sugere dois layouts distintos (Figura 3), sendo: A) *Layout* clássico do *sublevel*, lavra com conexão de interníveis, posicionando estra-

tegicamente *rib pillars*, com grandes aberturas ao longo do mergulho do minério com possibilidade de enchimento com *rockfill*, separando os níveis de lavra com *sill pillar* (pilares horizontais); B) *Layout* modificado proposto por Batista (2019), lavra sem conexão de interníveis, com presença apenas de *sill pillars*, com grandes aberturas ao longo da direção do minério e sem possibilidade de enchimento com *rockfill*.

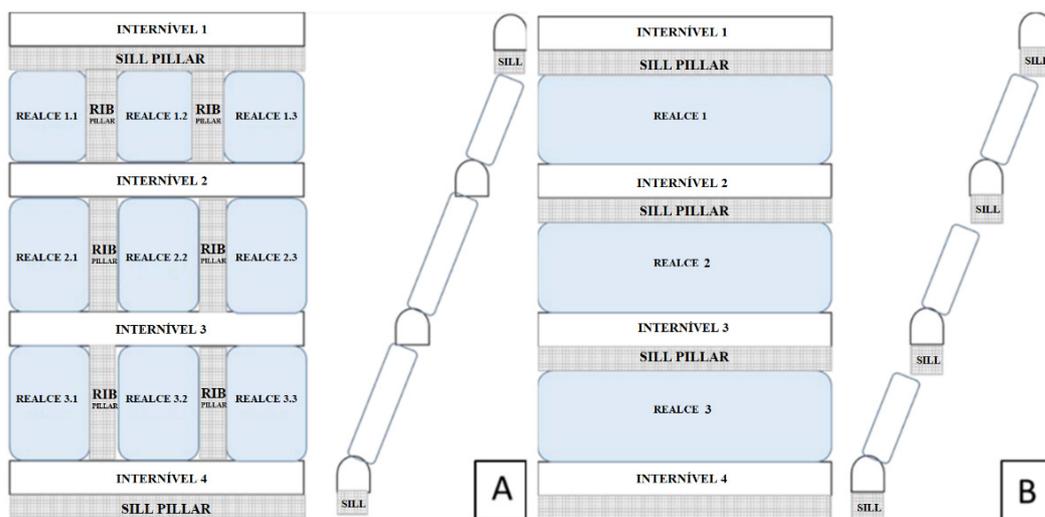


Figura 3. Variação do layout no método de lavra *Sublevel Stopping* a ser aplicado na Mina 3.

Apoiado nessa proposta, serão simulados os dois métodos de lavra com intuito de verificar a melhor estabilidade. O layout modificado, sem conexão de interníveis, economicamente é mais

rentável e apresenta ganhos operacionais como redução da perfuração, redução de abertura de face livre, ciclos de produção mais contínuos e com menos interrupções, geração de maior massa por

ciclo, além de reduzir as incertezas de reconciliação geológica já que os interníveis são independentes.

4 RESULTADOS

De forma a quantificar a diluição dos realces lavrados da Mina 3 da MSG, foram comparados os valores do planejado com escavado de 14 lavras no *layout* clássico. O painel de lavra contempla quatro interníveis conectados, sendo cada internível composto por três *stopes* de lavra e o último com quatro áreas de lavra.

A sequência de lavra iniciou no internível identificado como INT 722 (Figura 4). A lavra apresentou aderência adequada, sem perda de produtividade em relação a diluição. O segundo estágio descrito como INT 742, sendo dois realces conectados com o internível acima. A estabilidade da lavra permanece adequada com baixos valores de diluição. O terceiro estágio corresponde ao INT 752; nessa sequência, os três interníveis totalizam 46 m de altura na vertical e 60 m no HW. Após executado, o bloco 2 do INT 752 exibiu diluição de até três metros no HW localmente. O quarto e último estágio denominado de INT 772 um total de 60 m na vertical e 75 m no mergulho do minério é sustentado por pilares verticais. A lavra do último painel gerou instabilidade em seis regiões,

com diluição superior a três metros no HW, sendo que uma delas afetou três interníveis diferentes em maior proporção (Figura 4).

É possível interpretar na aderência da lavra do primeiro e segundo estágio da lavra, os primeiros seis realces identificados como INT 722 e INT 742, apresentaram estabilidade adequada, sem indícios de instabilidade por causa dos vãos lavrados, sendo que os valores superiores retratam possíveis problemas de perfuração e desmonte. O terceiro estágio identificado como INT 752, devido a geometria complexa, traz incertezas em relação a estabilidade da lavra, o resultado da diluição é evidenciado em um dos dez realces lavrados nesta etapa, apresentando uma estrutura geológica incipiente na região com diluição elevada (Figura 4). A lavra do último internível tende a gerar diluição superior aos demais, já que o conceito do método de lavra são grandes vãos de cima para baixo sem enchimento. Logo, se ocorre diluição em uma lavra superior, a mesma permanecerá ou será superior. A diluição após abertura do INT 772 foi generalizada, sendo representada principalmente em seis regiões distintas dos 14 realces do painel. A estrutura geológica anteriormente incipiente, na última etapa da lavra, evidenciada pelos traços amarelos, contribuíram para a instabilidade do painel.

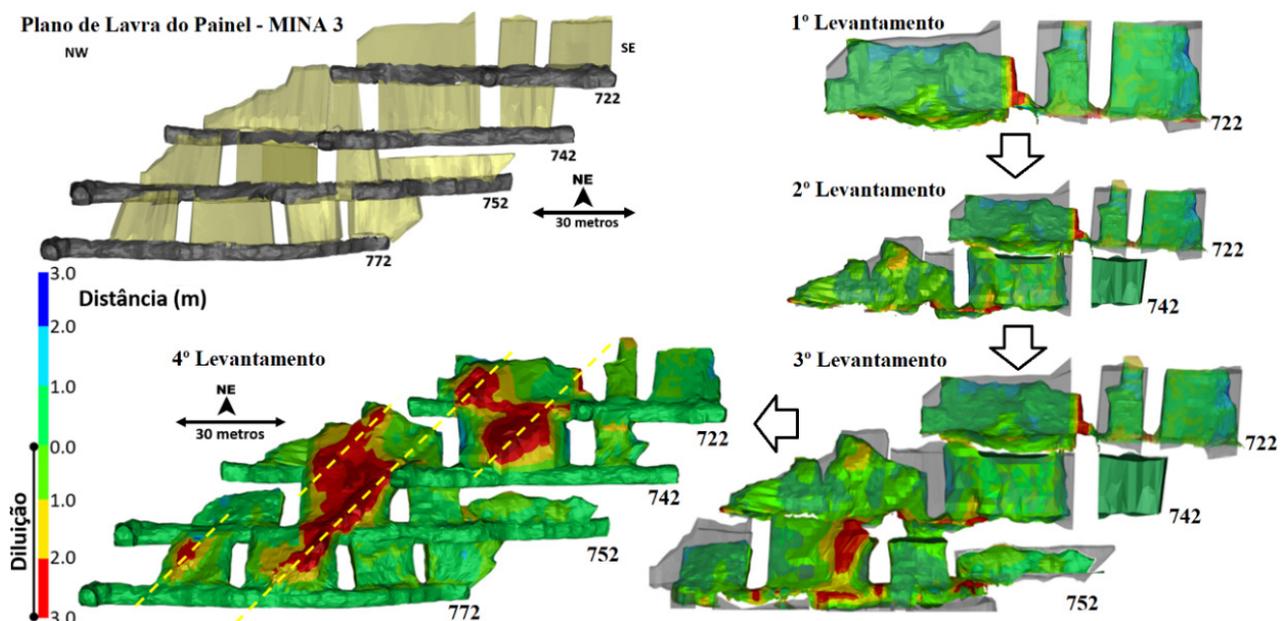


Figura 4. Aderência da lavra do nível 750 da Mina 3. Os traços amarelos evidenciam a diluição controlada por estruturas com orientação preferencial.

Os resultados demonstram uma instabilidade de nível painel caracterizado por duas estruturas do maciço rochoso, a foliação e a família de junta de orientação leste/oeste. Na Figura 4 é ilustrado sua relação com a diluição devido ao alongamento da quebra na direção paralela a estrutura. Importante assinalar que os resultados de alta diluição ocorreram de forma simultânea, durante a lavra do INT 772 ocorreu instabilidade no INT 742 para INT 722 e instabilidade do INT 772 para INT 742.

De forma a caracterizar as estruturas que condicionaram a quebra com as evidências do di-

recionamento da diluição, um total de 51 estruturas foram analisadas sendo dezoito denominadas como foliação e 33 como juntas. A foliação é paralela ao minério e não representa a direção mas sim o afastamento com a face planejada, sendo caracterizada deste modo como uma das superfícies que compõe o resultado final da diluição. As 33 juntas foram inseridas no estereograma para correlacionar com a diluição, e a distribuição espacial pode ser verificada na Figura 5.

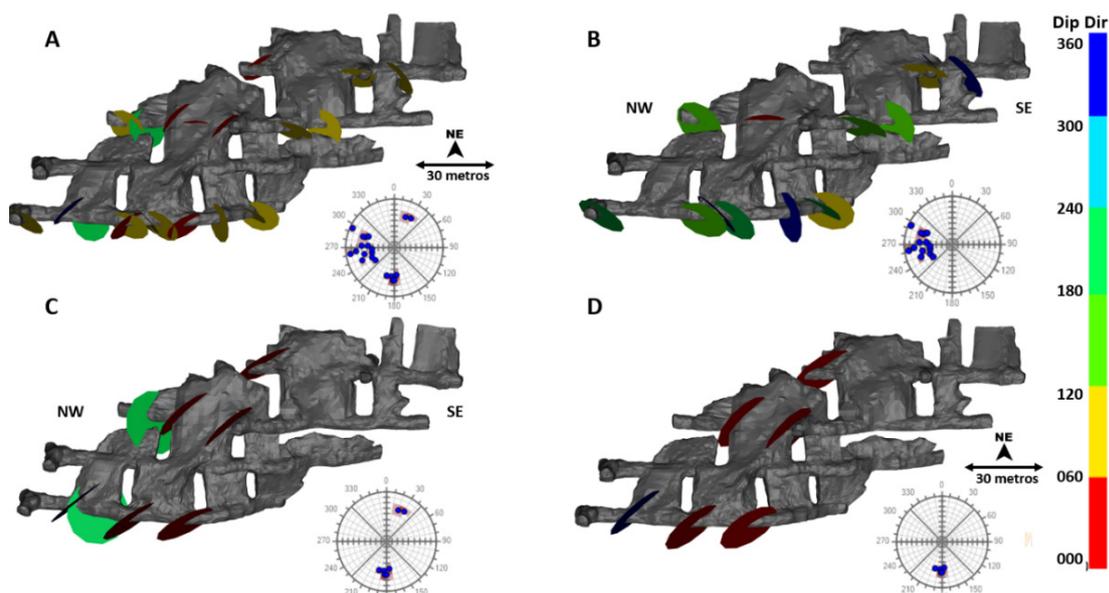


Figura 5. Caracterização estrutural do painel de lavra, baseado nas estruturas mapeadas.

É possível observar na Figura 5-A duas famílias de juntas denominadas de Junta 1 e 2. A Junta 2 apresentada na Figura 5-B não coincide com as posições de alta diluição, além de sua orientação não representar as regiões do maior alongamento da diluição. A Figura 5-C demonstra espacialmente a Junta 1 e condiz com a quebra, contudo a representação é feita por uma única família que apresenta orientações de mergulho opostas. Na Figura 5-D as estruturas denominadas de Junta 1 com mergulho para norte são visualizadas espacialmente nas regiões onde ocorreram as maiores diluições e com direção paralela a estas estruturas, corroborando que estas estruturas condicio-

naram a instabilidade. Desta forma, as estruturas que condicionaram as instabilidades das duas regiões foram a foliação e a Junta 1 com mergulho para norte. A partir dos dados mapeados e das referências das estruturas marcadas no HW da escavação, foram realizada as projeções destas estruturas com as mesmas orientações descritas anteriormente, sendo a projeção mais a norte representada por três estruturas mapeadas (Figura 6). Estas projeções são importantes para a prevenção da instabilidade, já que são estruturas com grandes persistências (macros) que podem interceptar áreas planejadas, causando incertezas na estabilidade da escavação.

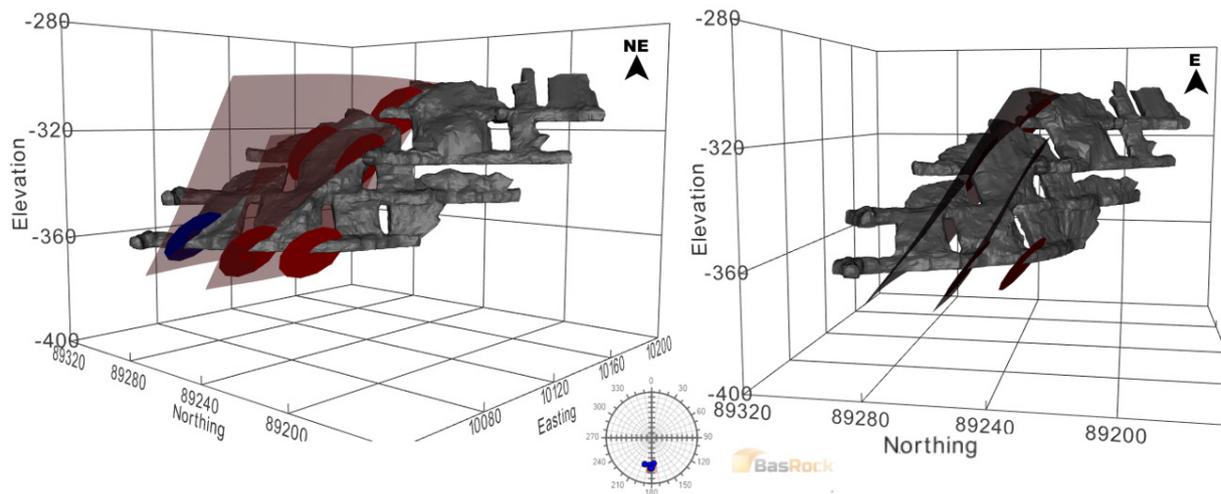


Figura 6. Estruturas que condicionaram a quebra no painel de lavra, denominadas de Junta 1.

De forma a avaliar as perdas envolvendo a diluição na região lavrada, optou-se por quantificar o material desmontado e separar a região de lavra da região de estéril, determinando assim a porcentagem de massa não planejada. A relevância da estabilidade está relacionada ao HW do minério, sendo assim, os dados de diluição do

footwall (FW) foram desconsiderados. Os perfis A e B da Figura 7 ilustram a região planejada que foi lavrado em azul e a diluição em vermelho no HW. A Tabela 1 resume os resultados, sendo a porcentagem da diluição calculada por meio da divisão dos volumes da diluição e do minério, já que ambos têm a mesma densidade.

Tabela 1. Diluição das duas principais áreas instáveis da Mina 3.

	Volume de minério (m ³)	Volume diluição (m ³)	Volume Total (m ³)	Diluição (%)	Diluição (ton.)	Custo com Diluição (US\$)
INT 722 - Perfil A	3152	1351	4503	42.9%	3756	US\$89.061,00
INT 742 - Perfil B	3920	2460	6380	62.8%	6839	US\$162.168,00
Total	7072	3811	10883	53.9%	10595	US\$251.229,00

Base monetária: Oz a US\$1500,00 e Dólar a R\$4,00

Os dois realces lavrados constituíram 53.9% de diluição, representando uma massa de 10.595 toneladas não planejadas. A somatória do custo do transporte do material da mina subterrânea e do processo de beneficiamento na planta metalúrgica da MSG é de US\$23.71/t, sendo assim, a diluição representou um custo de US\$251.229,00 além de atrasos operacionais já que é necessário transportar mais material e posteriormente bombear o rejeito para barragem reduzindo sua vida útil.

O impacto é superior comparando a massa de estéril beneficiado com o teor mínimo de produção da MSG, denominado de teor de corte de 1.5 g/t. Assim, substituindo o estéril que foi beneficiado pelo teor de corte, a MSG poderia ter produzido 511 oz de ouro a mais no plano de produção e sua receita somaria US\$750.000,00 por esse adicional, contabilizando assim uma perda de aproximadamente US\$1.000.000,00.

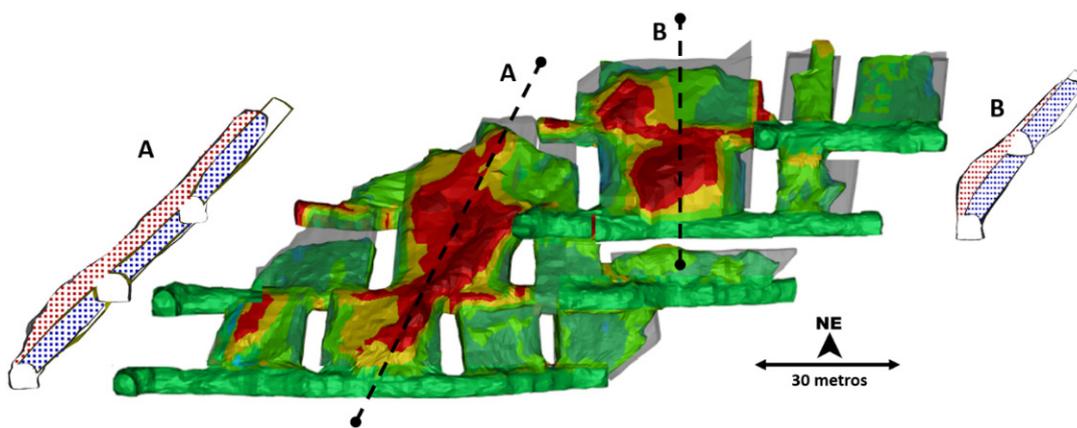


Figura 7. Seções nas principais áreas de instabilidade do painel de lavra da Mina 3, ressaltando em vermelho a diluição não planejada e em azul o minério desmontado.

De posse dos dados obtidos, uma nova proposta para o posicionamento dos pilares foi analisado, conforme o *layout* modificado exemplificado na Figuras 3. As interpretações advêm das estruturas analisadas que definem a instabilidade, a Junta 1 com mergulho para norte gera projeções estruturais ao longo do minério, de forma que o uso de pilares verticais (*rib pillar*) não contempla essas regiões, criando assim corredores estruturais sem posicionamento de um pilar (Figura 7). A mudança do *layout*, removendo o *rib pillar* e inserindo o *sill pillar*, pilar na horizontal, faz com que esses corredores sejam restritos aos pilares, com grandes vãos na direção que não contém estruturas persistentes, aumentando assim a estabilidade.

Sendo assim, foi proposto a lavra com *layout* modificado, com inúmeros benefícios, desde a ex-

tração de uma maior quantidade de minério, já que o volume do pilar é menor, quanto pela agilidade operacional com redução de face livre, denominada na mineração de *slot*. No geral, as lavras comportaram-se de forma adequada, com baixa diluição. Os resultados da aderência e a diluição podem ser verificados na Figura 8.

A porção norte do Bloco 3 e Bloco 4 apresentou instabilidade superior as demais áreas. Esse fato pode estar relacionado a recuperação parcial do pilar entre o segundo e o terceiro realce lavrado. É possível interpretar, com base na diluição do Bloco 3, que a estrutura que condicionou a diluição é a estrutura regional, Junta 1. O último realce, Bloco 4, também com diluição superior na parte norte, foi influenciado por desvio da perfuração, baseado nos resultados de perfilagem que são realizados pela equipe da MSG.

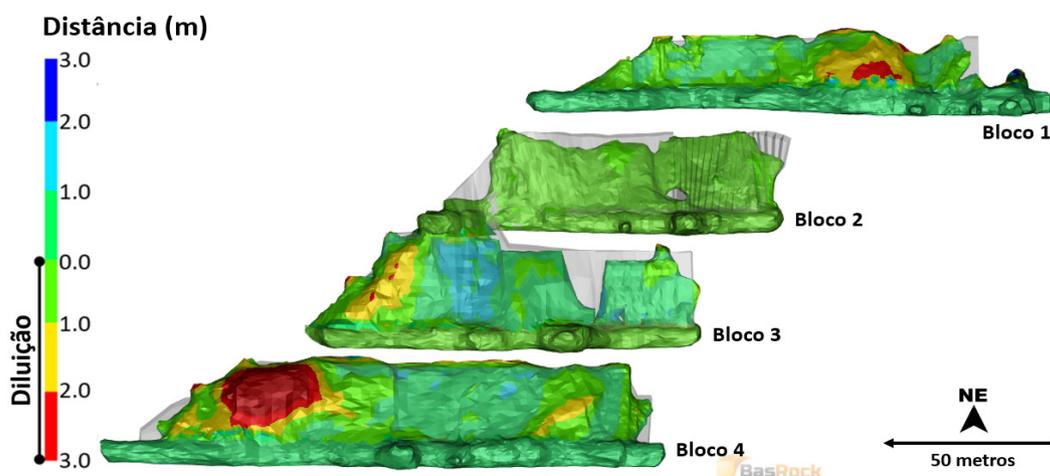


Figura 8. Aderência dos realces lavrados na Mina 3 com o *layout* modificado.

Com o intuito de comparar os resultados da diluição, é apresentado na Tabela 2 as diluições que ocorreram com o *layout* modificado. Na diluição está sendo considerada apenas a face do HW do minério assim como na Tabela 1. No total a di-

luição foi de 17.3%, com valor mínimo de 6.3% e valor máximo de 20.6%. Os resultados são positivos, visto que o planejamento da mina considera diluição de até 20% e os dados computados dos interníveis foram inferiores.

Tabela 2. Diluição das áreas de lavra da Mina 3 com o layout modificado.

	Volume Planejado (m ³)	Volume diluição (m ³)	Volume Total (m ³)	Diluição (%)	Diluição (ton.)	Custo com Diluição (US\$)
Bloco 1	1596	317	1913	19.86%	881	US\$20.897,00
Bloco 2	2731	173	2904	6.33%	481	US\$11.405,00
Bloco 3	3374	272	3646	8.06%	756	US\$17.931,00
Bloco 4	6543	1351	7894	20.65%	3756	US\$89.061,00
Total	12244	2113	16357	17.26%	5874	US\$139.293,00

Base monetária: Oz a US\$1500,00 e Dólar a R\$4,00

Em comparação ao método antigo, a diluição de 53.9% foi reduzida para 17.3% com o novo *layout*, significando que ocorreu uma redução de 36.6 pontos percentuais. Essa variação no contexto dos quatro blocos significou uma redução de 12.166 toneladas de diluição não planejada, logo ocasionou uma redução no custo de carregamento de transporte e beneficiamento na planta metalúrgica de US\$288.500,00, além dos custos envolvidos com beneficiamento do minério e transporte do rejeito para a barragem de rejeito. Simulando o teor mínimo de produção, as 12.166 toneladas representam 587 oz de ouro, receita superior a US\$850.000,00, sendo assim, totalizando ganhos de aproximadamente US\$1.100.000,00.

5 CONCLUSÃO

Uma forma de verificar a qualidade dos *layouts* é utilizar a aderência do planejado com executado quantificando a diluição e seus gastos. O *layout* clássico de *sublevel* custou para a empresa perdas de aproximadamente US\$1.000.000,00, enquanto o layout modificado trouxe inúmeros benefícios além da redução da diluição com ganhos de aproximadamente US\$1.100.000,00.

Os resultados alcançados comprovam que métodos adequados de engenharia geotécnica empregados de forma correta por engenheiros geotécnicos qualificados são capazes de determi-

nar o melhor *layout* de lavra, além de trazer benefícios à segurança, constituindo-se no alicerce para a execução de um projeto com confiabilidade de custos e prazos. O dimensionamento inadequado, seja em relação ao tamanho do vão ou da forma de conexão das áreas de lavra, traz impactos significativos ao custo de produção e atrasos no plano de produção. A prática de simular cenários diferentes na busca da melhor relação econômica e financeira do ativo é uma das atividades essenciais ao geotécnico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE), à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), à AngloGold Ashanti (AGA) e à Mineração Serra Grande (MSG) pelo fomento à pesquisa e por apoiar a publicação deste estudo.

REFERÊNCIAS

Batista, G.A.P. (2019) *Calibração do Modelo Numérico por Meio da Abordagem Probabilística e da Diluição Estruturalmente Controlada no Método de Lavra Sublevel Stopping*. Dissertação (mestrado em Geotecnia) Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

Charbel, P.A. (2015) *Gerenciamento de risco aplicado à diluição de minério*. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.

Costa, L.C.B. (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 Bárbara/MG. Dissertação (mestrado em Geotecnia) Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

Da Silva, J.H, Batista. G.A.P., De Souza, T.L.C., Carvalho, A.S., Ribeiro, G.R. (2018) *Análises Empíricas para Estimativa de Estabilidade e Diluição de Realces Sublevel Stopping da Mina Corpo IV, Mineração Serra Grande*. Simpósio Brasileiro de Mecânica de Rochas – SBMR, 2018, Salvador, BA

Da Silva, J.H, Batista, G.A.P., Ramires, J.E.F., Carvalho, A.S.; Ribeiro, G.R., Resende, P.F.S. (2019) *The influence of the discontinuities on the mining performance*. 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering – ISRM, Foz do Iguaçu, PR.

Mathews, K. E., Hoek, E., Wylie, D.C., Stewart, S.B.V. (1981) *Prediction of stable excavation spans for mining at depths below 1,000 m in hard rock mines*. Canmet Report DSS Serail No. OSQ80-00081.

Potvin, Y. (1988) *Empirical open stope design in Canada*. Ph.D. Thesis. The University of British Columbia p.350.