

INFLUÊNCIA DAS DESCONTINUIDADES NO CÁLCULO DO RMD PARA ANÁLISE DE FRAGMENTAÇÃO

Thomás Cozer Araujo – UNIFAL-MG

Ana Olivia Baruffi Franco de Magalhães – UNIFAL-MG

Osvail André Quaglio – UNIFAL-MG

Rafael Cunha de Azevedo – Grupo Quaglio

anaolivia.baruffifranco@gmail.com

RESUMO

A mineração no Brasil ocorre na grande maioria através de pequenas e médias empresas. Muitas vezes essas empresas não detêm capital para investimentos com as tecnologias mais avançadas, dessa forma, cabe aos profissionais do ramo aplicar conhecimentos para redução de custos, como a realização do reconhecimento geoestrutural do maciço rochoso e estimativa da fragmentação através do modelo Kuz-Ram. Fraturas paralelas em relação à face do talude apresentam menor resistência à quebra em comparação com as perpendiculares. No caso da Pedreira Mogiana, alterando-se a face do talude de avanço para N35E, pode-se reduzir o custo total das etapas de perfuração e desmonte em 17%, mantendo a fragmentação atual ou reduzir em 15% o tamanho médio dos fragmentos, mantendo os custos.

Palavras-chave: Reconhecimento geoestrutural; redução de custos; perfuração; desmonte

ABSTRACT

Mining in Brazil occurs mostly through small and medium-sized companies. Often these companies do not have capital for investments with the most advanced technologies, thus, it is up to professionals in the field to apply knowledge to reduce costs, such as the geostructural recognition of the rock mass and estimation of fragmentation through the Kuz-Ram model. Parallel fractures in relation to the slope face have less resistance compared to perpendicular ones. In the case of Pedreira Mogiana, by changing the face of the advance slope to N35E, can reduce the total cost of the drilling stages and blasting by 17%, maintaining the current fragmentation or reduce the average size of the fragments by 15%, maintaining costs.

Key-words: Geostructural recognition; cost reduction; drilling; blasting

INTRODUÇÃO

A necessidade atual da sociedade por bens minerais confere ao setor da mineração grande importância econômica. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2015), dados comprovam que o setor extrativista representa 4% do PIB brasileiro e aproximadamente 5% do PIB mundial. [1]

O setor de agregados compreende a produção de rocha britada e areia, basicamente. Esses compostos são utilizados diretamente na construção civil ou combinados com outros materiais para formação de concreto e argamassa. [2]

A mineração desses materiais é absolutamente necessária para a sociedade contemporânea, principalmente em áreas urbanas consolidadas, que são indispensáveis à melhoria da qualidade de vida da população. A brita é considerada um bem mineral de uso social, tornando-se insubstituível, sendo a sua utilização provedora de empregos, progresso, conforto e bem estar para a sociedade. [3]

O desenvolvimento de infraestrutura de um país está ligado diretamente com a produção de agregados, provenientes das atividades mineiras. O termo brita é empregado para caracterizar fragmentos de rocha dura, separados de acordo com a granulometria através de múltiplas etapas de britagem e peneiramento. [4]

De acordo com um levantamento feito pela Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas da Universidade de São Paulo (FIPE) sobre o consumo médio de agregados em obras, constatou-se que em uma casa popular de 50 m² utiliza-se de 68 toneladas de material, que um edifício público de 1000m² consome 1360t e que uma estrada pavimentada chega a requisitar 9500 toneladas por quilômetro [3]

A Figura 1 demonstra onde a brita é utilizada em porcentagem de cada setor. Nota-se que 40% da produção é destinada para pavimentação de vias e órgãos públicos, as concreteiras 17%, e, logo em seguida, com 16% vem o mercado varejista e de revendedores. A rocha britada é utilizada como lastros e enrocamentos, representando 5% do montante, com menor porcentagem. [5]

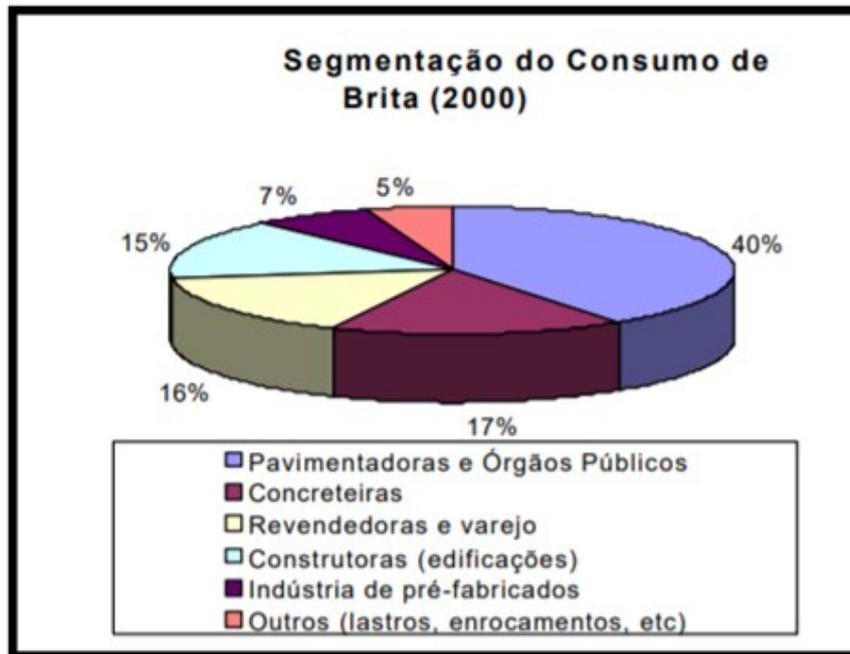


Figura 1 - Utilização da brita por diversos nichos. [5]

O gerenciamento das operações unitárias depende de fatores naturais como a geologia e disposição do corpo mineral, topografia, relação estéril minério, condições do mercado e capital disponível para investimento. A conexão de fatores tão distintos, gera complexidade para a fase de exploração, sendo necessário um planejamento criterioso para se obter produtividade e custos otimizados. [6]

O presente trabalho agiu sobre as operações primárias dentro da cadeia de produção: a perfuração e o desmonte de rochas. Entender como o maciço se comporta para otimizar esses processos faz com que todos os processos seguintes sejam melhorados. Dessa forma, obtendo-se um ciclo produtivo mais adequado como um todo, é possível a otimização do processo. [7]

A presença de fraturas pode alterar completamente a propagação das ondas que fragmentam a rocha. Dessa forma, torna-se importante realizar um reconhecimento da compartimentação do maciço rochoso e posterior conformação do plano de fogo, de modo que a energia proveniente do explosivo seja utilizada da melhor maneira. [8]

A fragmentação do material assume importância fundamental nas operações mineiras e esse assunto não é tratado de maneira técnica e compatível com o porte das minerações brasileiras. [9]

No caso de pedreiras, onde o produto requer granulometrias finas através de poucos processos de fragmentação, estudos sobre o modelo de quebra do maciço durante o desmonte por explosivos se tornam relevantes, a fim de maximizar a eficiência dessa operação.

O presente trabalho foi realizado em uma pedreira localizada a 170km de São Paulo – SP. O acesso a partir da capital pode ser feito através da Rodovia Anhanguera até Campinas, depois um trecho pela Rodovia Dom Pedro e em seguida pela Rod. Gov. Dr. Adhemar Pereira de Barros até chegar na Rodovia SP 147, conforme ilustra a Figura 2:

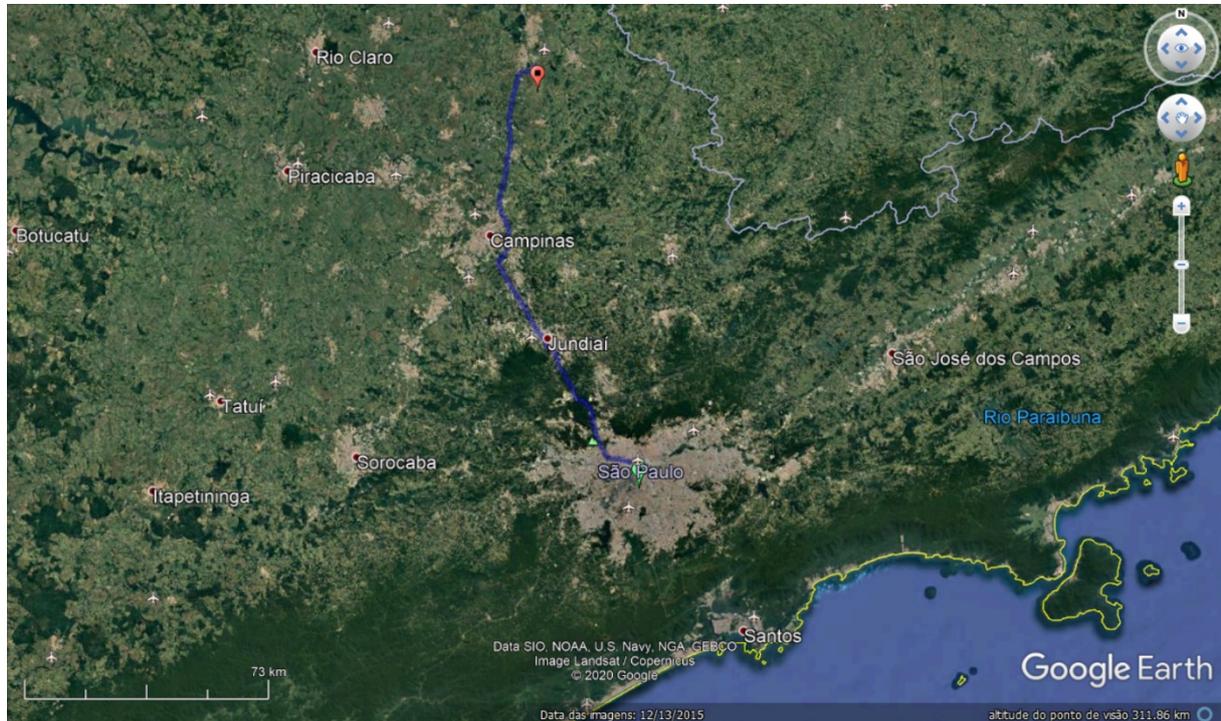


Figura 2 - Trajeto de São Paulo à pedreira do presente estudo

Fonte: Google Earth (2020).

Através do processo de beneficiamento instalado é possível produzir diversas faixas granulométricas e composições diferentes, abrangendo a lista de produtos para atender ao mercado consumidor de forma satisfatória. Na pedreira, se obtém brita 01, brita 02, brita 03, brita 04, pedrisco, pó de pedra, pedrisco misto, brita graduada simples, bica corrida, pedra marroada e pedra rachão. [10]

Tais produtos podem ser utilizados para fabricação de concreto, aterramento, fundação, confecção de filtros de decantação e drenagem, massa asfáltica, pisos, gabiões, muros de contenção, enrocamento e barragem contra marés. [10]

O maciço rochoso, composto por rocha sã e descontinuidades, apresenta um elevado grau de complexidade na tradução dos dados in situ para um modelo de plano de fogo. Porém, é de extrema importância que esses dados sejam interpretados para realizar as operações da melhor maneira possível.

As condições naturais dos blocos do maciço, interferem diretamente no grau de fraturamento atingido após a fragmentação da rocha. Em diversas ocasiões, a pilha de

material desmontado é composta por fragmentos de tamanhos semelhantes às dimensões naturais. [11]

Dito isso, quando um fogo é bem dimensionado em função das descontinuidades, pode-se tornar a lavra do maciço mais segura e melhorar a condição econômica do desmonte, pois a energia liberada pelos explosivos terá maior eficiência. [12]

Através de um levantamento in situ das famílias de fraturas, pode-se determinar um padrão diferente para cada local de estudo. Dessa forma, é possível orientar a lavra, aumentando a qualidade dos blocos gerados. [13]

METODOLOGIA

O projeto iniciou-se pelo levantamento geoestrutural das frentes de avanço de lavra da Pedreira Mogiana, através de revisões bibliográficas de trabalhos já realizados no local em questão. Foram observados dados como a orientação das fraturas incidentes na face livre rochosa e o azimute do talude. Dessa forma, foi possível estabelecer uma relação entre eles.

Ao analisar o gráfico em formato de Rede de Schimidt obtidos através do software Open Stereo, observou-se que as fraturas possuem, em sua grande maioria, mergulho vertical, pois poucas descontinuidades apresentam formato esferoidal, a maioria são linhas retas, restando apenas duas formas de interação, sendo elas paralelas ou perpendiculares.

Além disso, foi possível notar que a relação entre descontinuidades e talude é de perpendicularidade. Dessa forma, tomou-se esse comportamento para os primeiros cálculos de fragmentação.

Os modelos de fragmentação foram planilhados através do software Excel, de modo que pudessem ser realizados os gráficos de distribuição granulométrica, a fim de se comparar a influência do ângulo de incidência das descontinuidades na face do talude na fragmentação final do desmonte, determinando-se de que forma pode-se obter maior quebra da rocha com menor custo associado, garantindo que os processos de perfuração e desmonte fossem otimizados, contribuindo para a economicidade do empreendimento.

Primeiramente, foi gerada a curva de distribuição através do modelo de Kuz-Ram para o cenário atual da pedreira, com as fraturas, na sua grande maioria, perpendiculares à face livre. Em seguida, alterou-se apenas o parâmetro para que fosse calculada a nova curva, mas dessa vez considerando que as fraturas fossem paralelas ao talude.

Após essa primeira comparação, notou-se que o cenário com fraturas paralelas à face livre é mais propício para a fragmentação do material, mesmo utilizando uma malha com distâncias idênticas entre os furos.

Em seguida, alterou-se os valores de espaçamento e afastamento, mantendo a mesma relação de 1,6 entre esses parâmetros, de acordo com a primeira comparação, a fim de identificar qual seria a nova malha que traria a mesma fragmentação. Para isso, variou-se o afastamento de 5 em 5 centímetros até atingir o objetivo.

Ao identificar a nova combinação de parâmetros da malha de detonação, foi possível calcular em porcentagem, a economia gerada pela alteração da orientação da face do talude de avanço.

Através da comparação dos valores dos passantes em cada uma das peneiras e conseqüentemente a distribuição granulométrica entre os modelos de fragmentação entre TCM e KUZ-RAM, foi possível se obter mais informações sobre a geração de finos no processo de detonação e se isso poderia ou não acarretar em efeitos negativos na produção de agregados.

Por fim, pôde-se propor a alteração do ângulo de avanço da lavra, visando obter melhores resultados operacionais, como redução do tamanho médio dos fragmentos, melhorando a fragmentação ou gerando redução no custo das operações de perfuração e desmonte, assegurando a mesma fragmentação que já vinha sendo obtida no empreendimento.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Caracterização geoestrutural do maciço rochoso

A fim de se compreender o comportamento do maciço rochoso na etapa de detonação, deve-se ter conhecimento das famílias de fraturas que as ondas de compressão irão se apresentar. No interior do maciço, as descontinuidades atuam como faces livres parciais, pois a energia proveniente do explosivo reflete nessas estruturas, assim como refletiria na face livre do talude, portanto, a geração das ondas de tração responsáveis pela fragmentação do material, sofrem interferência direta das falhas existentes na rocha. [8]

Para este estudo, foram levadas em consideração as áreas A1 e A3 que são evidenciadas na Figura 3.



Figura 3 - Áreas A1 e A3, abordadas neste estudo e direção de avanço. [14]

Para se obter dados de orientações representativas, foram realizadas 105 medições em A1 e 21 aferições em A3, para que seja composto um modelo das descontinuidades. Como resultado dos 126 planos de fratura analisados, obteve-se aproximadamente 60% de fraturas persistentes, ou seja, que continuam sua propagação maciço adentro, parâmetro importante de ser avaliado por auxilia na determinação dos principais planos de fraturamento (PEREIRA; CASALECCHI, 2018).

De acordo com a Figura 4, nota-se que existem duas famílias com frequência acima de 10%, sendo elas $N85^{\circ}W$ e $N35^{\circ}E$, com aproximadamente 11,7 e 12,8%, respectivamente. Nota-se que ao redor da segunda família citada, existem diversas subfamílias também, dessa forma pode-se concluir que existe um número maior de fraturas próximas à direção $N35^{\circ}E$.

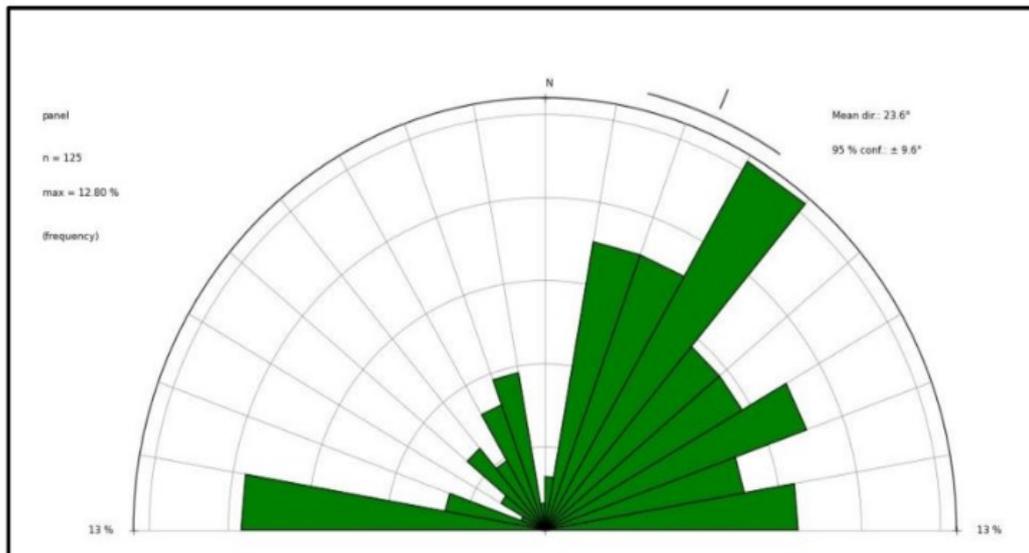


Figura 4 - Diagrama de Rosetas de A1 e A3 juntos. [14]

A Figura 5 representa os dados das discontinuidades aferidos em campo, em comparação com a orientação do talude. Nota-se que grande parte das fraturas apresentam uma certa angulação com a face livre, pode-se considerar que a relação entre esses planos apresenta maior caráter perpendicular do que paralelo.

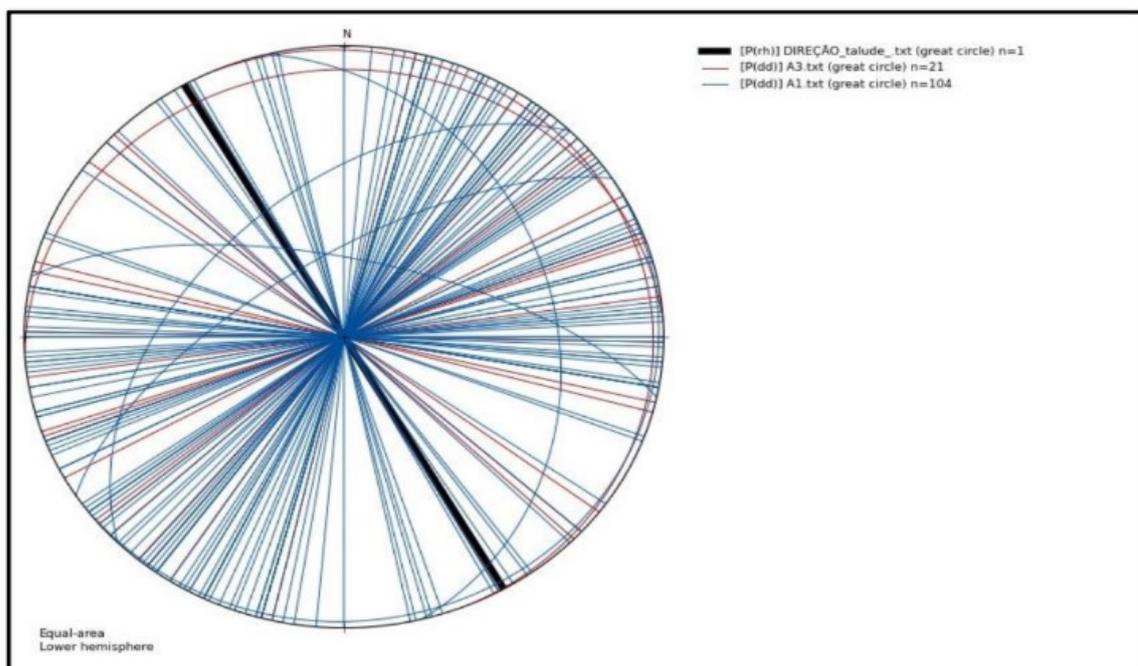


Figura 5 - Rede de Schimidt comparando ângulo do talude com os planos de faturamento. [14]

Modelagem de cava

Aplicativos computacionais são uma importante ferramenta para a modelagem de cavas de mineração, pois através deles é possível determinar diversas características do corpo mineralizado, sendo possível modelar de forma assertiva os limites das estruturas de uma mina, como acessos, direções da face da bancada de avanço e limites de taludes. [15]

Dentre os fornecedores de softwares disponíveis no mercado de mineração, a Deswik é uma empresa global de consultoria que busca entregar e desenvolver soluções customizadas para este setor, presente em diversas etapas da vida de uma mina, desde o modelamento do corpo geológico até as etapas de exploração de minério, tanto para cavas a céu aberto, quanto para minas subterrâneas. [16]

Utilizando ambos os módulos citados do software Deswik, foi possível projetar uma cava teórica, com a função de ilustrar as possibilidades que uma ferramenta computacional pode trazer para o setor da mineração. Dentre elas, a principal que foi levada em conta no presente trabalho é o planejamento prévio das operações.

Levando-se em conta a orientação preferencial das fraturas no maciço rochoso, é possível determinar a melhor posição para se iniciar um rebaixamento de cava e como esse processo irá se desenvolver. Dessa forma, os avanços serão determinados em função das descontinuidades, visando aproveitar dessas características para melhorar a fragmentação sem custo adicional na operação.

A Figura 6, demonstra uma cava que foi construída com auxílio do Deswik.CAD através de uma imagem do Google Earth da Pedreira Mogiana, que foi plotada no software e desenhou-se as linhas sobre a foto.

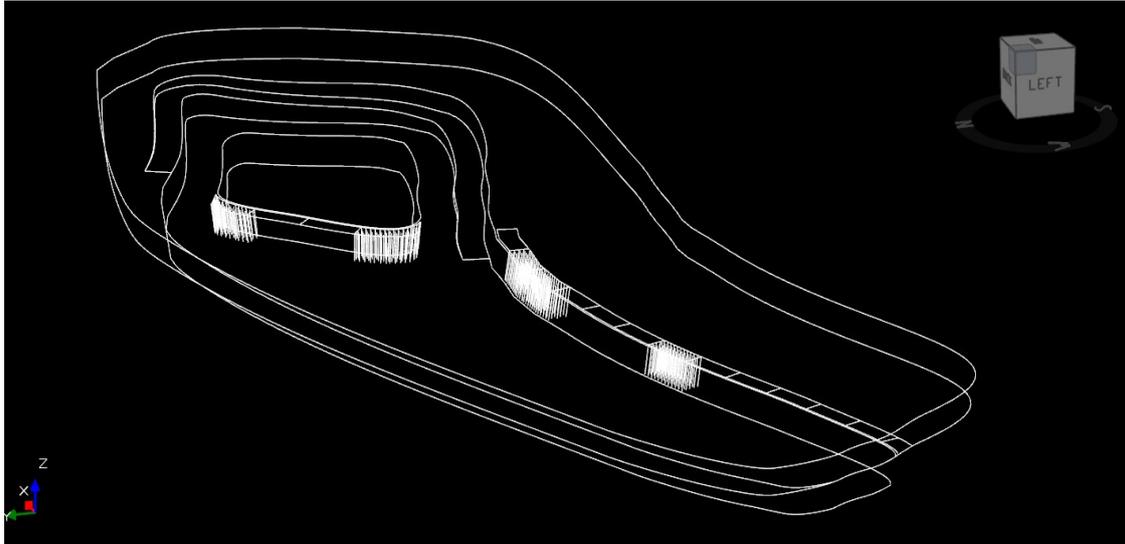


Figura 6 - Projeto teórico de uma cava de mineração

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Nota-se também, através da figura acima, como o software pode fornecer informações pertinentes para o planejamento de longo prazo da mina, como área e volume que será desmontado por bancada, quantidade de furos e conseqüentemente de explosivos que terão de ser empregados no projeto, assim como o tempo de execução de algumas tarefas, em função da produtividade do empreendimento.

Primariamente, tem-se a área superficial de cada bancada e através de cálculos relacionando a altura projetada, pode-se obter o volume de rocha que cada nível da mina contém. Ao alocar as marcações dos avanços, pode-se determinar o sentido de avanço e a quantidade de explosivo necessária para detonar certa massa de rocha pré-determinada, dessa forma, auxiliando no planejamento orçamentário do empreendimento.

A Figura 7 evidencia os furos alocados dentro dos grids de desmonte. A área desses grids é definida em função da tonelagem tida como ideal para que a pedreira funcione por certo tempo, sem que falte material para as operações de beneficiamento. Esse tamanho ideal pode ser definido em função de diversos parâmetros intrínsecos à operação, como adequação ao fluxo de caixa, capacidade dos equipamentos, etc.

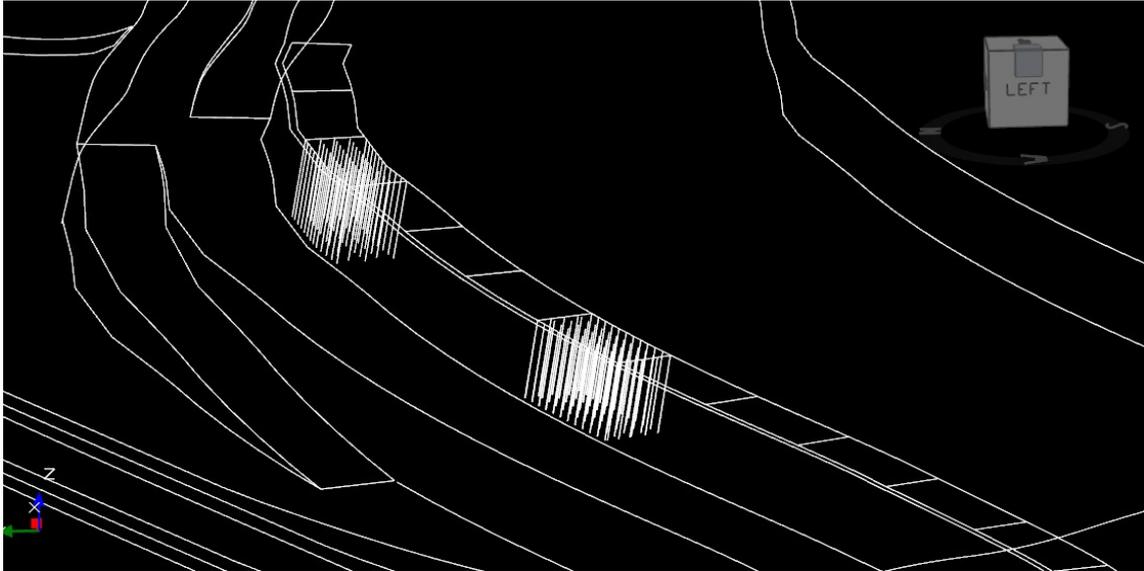


Figura 7 - Grid das áreas a serem detonadas e furos alocados nas mesmas

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Cálculo do RMD

Para determinação do fator da rocha, utiliza-se variáveis como a densidade, o módulo de Young e a descrição do maciço rochoso em função das fraturas, conforme descrito na Equação (7), resultando no índice de blastabilidade para tal. Uma vez que a densidade e a resistência a compressão uniaxial são características intrínsecas à rocha, optou-se por estabelecer relações em função do RMD.

A densidade da rocha da Pedreira Mogiana é de $3,1 \text{ g/cm}^3$ e considerou-se 167 Mpa para a resistência, em função de ensaios realizados. [17]

Para determinação da relação descrita na Figura 8, foi fixado o valor alvo de tamanho médio de partícula, quando RMD vale 60, por ser um dos valores intermediários entre os outros. Foi utilizado o valor de X50, uma vez que este é um dado que as planilhas determinam para calcular a curva granulométrica.

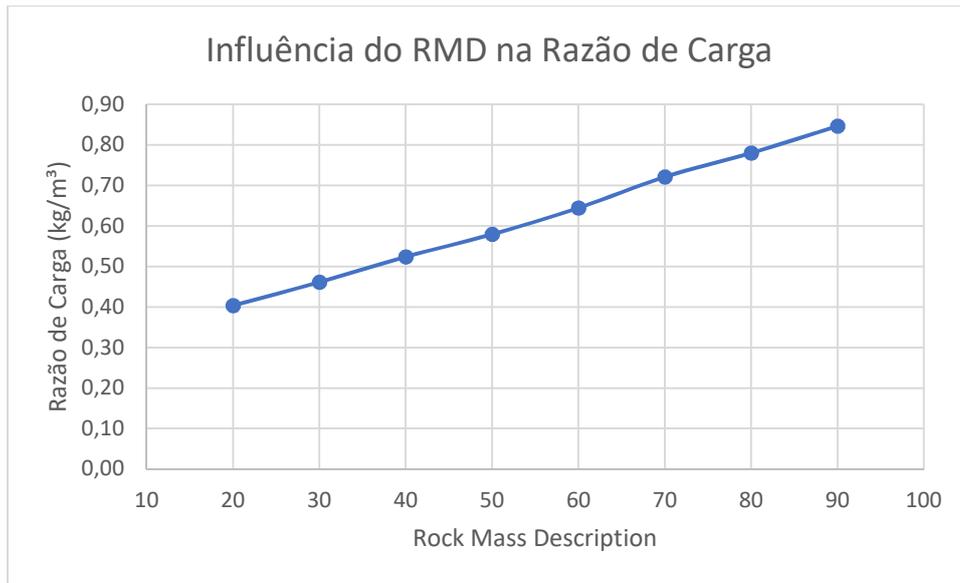


Figura 8 - Relação entre Rock Mass Description e razão de carga

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Após isso, variou-se os parâmetros da malha de detonação, deixando-a mais aberta quanto menor o valor de RMD e mais fechada quanto maior RMD, para que o mesmo X50 de 29cm fosse atingido.

Modificando a malha altera-se, conseqüentemente, a razão de carga na detonação, conforme pôde ser observado na figura anterior, a qual varia de 0,40 kg/m³ até 0,85 kg/m³, conforme diminui-se a susceptibilidade do maciço à quebra.

Na Figura 9, foi realizada uma comparação semelhante à Figura 8. Porém nesse momento, foi fixada uma determinada malha e variou-se o RMD, a fim de se obter resultados sobre como o valor de tamanho médio dos fragmentos se comporta. Tal dimensão varia de 21 centímetros para maciços pouco resistentes até 39 centímetros para aqueles que apresentam grande resistência à fragmentação.

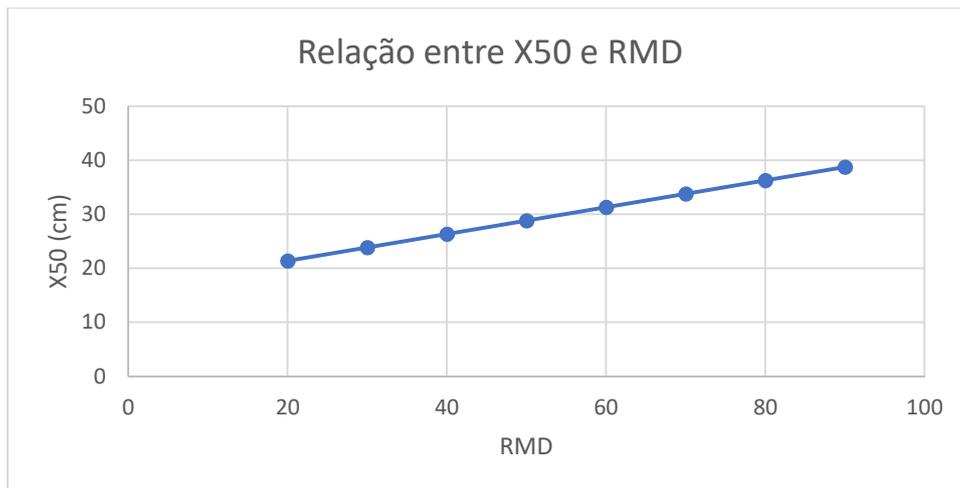


Figura 93 - Relação entre tamanho médio de partícula e Rock Mass Description

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Como demonstra a Figura 10, foi realizado um comparativo da distribuição granulométrica obtida através de dois diferentes modelos, pelo método de Kuz-Ram, que foi utilizado anteriormente para determinar o tamanho médio das partículas e o modelo *Two Components Model* (TCM).

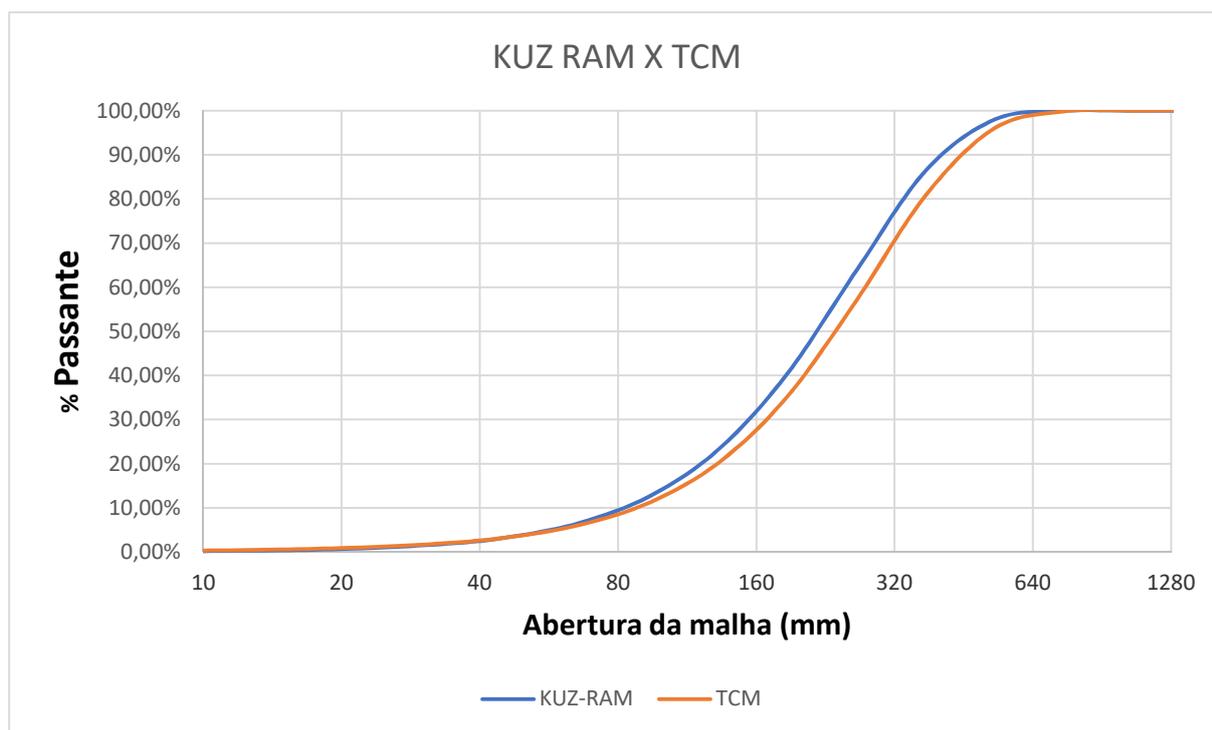


Figura 10 - Distribuição granulométrica pelos métodos de Kuz-Ram e TCM

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Nota-se que o modelo TCM apresenta ligeira porção maior na região dos finos. Esse pequeno aumento se deve ao fato de pouca rocha ser pulverizada no momento da detonação, uma vez que a rocha é muito resistente e os furos são de pequeno calibre. Caso os furos tivessem um diâmetro maior, mais material ao redor seria reduzido a pó, fazendo com que a diferença seja maior na região fina da distribuição.

Analisando as possibilidades de incidência das fraturas no talude da Pedreira Mogiana, conclui-se que alterando a orientação da face livre, pode-se obter maior número de fraturas perpendiculares ou paralelas em relação à direção de à face de avanço da mina. Para realizar um estudo sobre a influência dessa alteração na fragmentação, plotou-se o gráfico apresentado na Figura 11, a seguir:

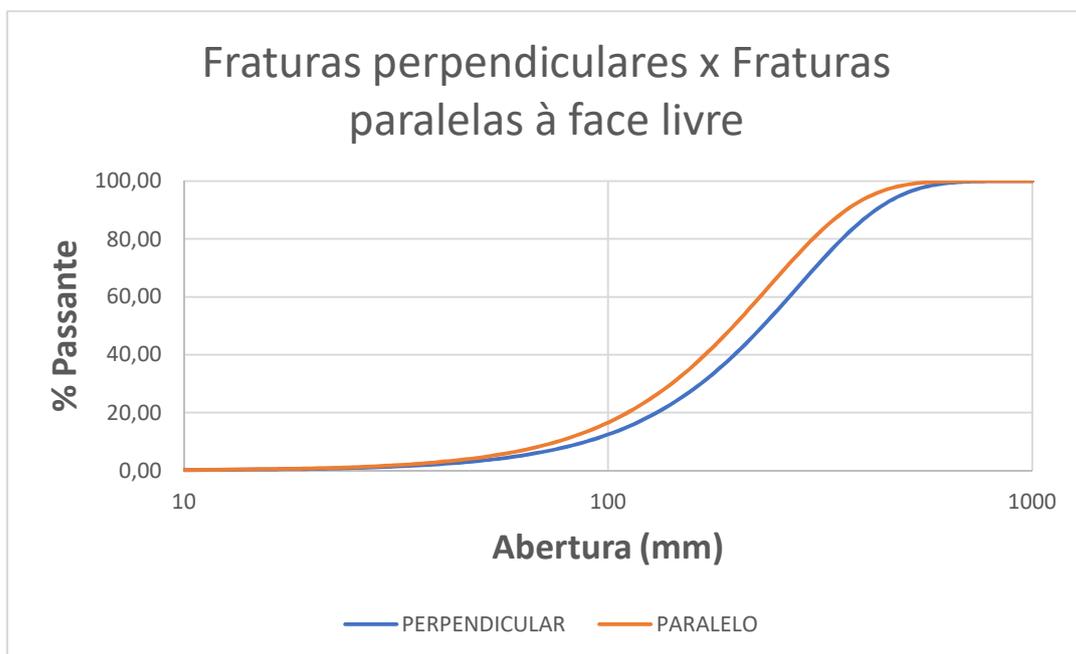


Figura 114 - Alteração da fragmentação em função das fraturas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para a determinação dessa distribuição granulométrica, considerou-se a malha utilizada atualmente nas operações com 2 metros de afastamento e 3,2 metros de espaçamento entre os furos. Alterando entre os dois modos de fraturas já mencionados, o fator da rocha altera-se de 7,25 para fraturas paralelas à face livre para 8,45 para perpendiculares à mesma, aumentando a resistência ao desmonte.

Através dos dados utilizados, obteve-se o valor de 27,5 para o RDI e 33,4 para HF, que representam a influência da densidade e módulo de Young, respectivamente, compondo assim, o cálculo do fator da rocha de acordo com o modelo de Kuz-Ram.

Dessa forma, ao tornar o maciço mais propenso à fragmentação, utilizando a mesma malha, pode-se obter melhorias como 15% de redução do P50 e do P80, de 23,9 para 20,5 cm e de 36,9 para 31,6 cm, respectivamente, evidenciado na Figura 11.

A redução no tamanho dos fragmentos pode reduzir os custos das próximas etapas, como o carregamento, transporte e britagem. Porém caso não seja de interesse reduzir o tamanho das partículas, pode-se deixar os furos mais espaçados entre si, para garantir a mesma fragmentação.

Para não gerar problemas, foi mantida a mesma relação de 1,6 entre os parâmetros da malha. Obteve-se então, que 2,2m de afastamento e 3,5m de espaçamento em um cenário de fraturas paralelas à face livre resulta na mesma fragmentação quando a malha é de 2m X 3,2m em descontinuidades perpendiculares.

Portanto, a área que cada furo desmonta aumenta de 6,4m² para 7,7m², um incremento de 17% a área de influência do furo. Isso quer dizer, que para um mesmo volume de minério requerido, serão realizados 17% menos furos, resultando em menor quantidade de explosivos total.

O aumento da área de influência de cada furo, significa que será necessário menor energia para fragmentar a rocha, os cálculos indicam uma redução na razão de carga de 0,74 kg/m³ para 0,61 kg/m³, mantendo a fragmentação constante.

O que foi apresentado até então, são os extremos de uma otimização, que seria ganhar 15% na fragmentação ou reduzir 17% nos custos de perfuração e desmonte. Porém, existem outras opções medianas entre essas duas propostas, conforme ilustra a Tabela 1.

Tabela 1 - Possibilidades após alteração da orientação da face do talude.

Afastamento (m)	Espaçamento (m)	Redução de tamanho médio	Redução de custo
2,00	3,20	15%	0%
2,05	3,30	10%	5%
2,10	3,35	7%	9%
2,15	3,45	3%	14%
2,20	3,50	0%	17%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

CONCLUSÃO

O projeto desenvolvido foi de grande importância no desenvolvimento da visão técnico-econômica no âmbito da Engenharia de Minas e aplicação dos conhecimentos adquiridos em sala para melhorias em cenários reais.

O reconhecimento geoestrutural do maciço pode resultar em ganhos significativos para a operação, sem precisar investir em novas tecnologias, novas máquinas, etc. Portanto, é uma técnica da engenharia que pode ser aplicada em qualquer empreendimento, sem acarretar em despesas extras para o processo.

O presente estudo possibilitou desenvolver possibilidades operacionais após a alteração da orientação de avanço da bancada. Uma delas, mantendo os parâmetros da malha de detonação atual, gera-se um incremento na fragmentação, resultando na redução de 15% no tamanho médio dos fragmentos e mantendo os custos atuais de perfuração e desmonte. Nesse caso, pode-se ter ganhos de produtividade nas operações subsequentes.

No lado oposto da otimização, assegura-se o mesmo grau de fragmentação atual, gerando uma economia de 17% nas etapas de perfuração e desmonte, uma vez que será necessária menor quantidade de furos para a mesma tonelagem requerida.

Como o número de furos pode ser menor, tem-se uma redução do mesmo percentual no tempo total requerido para a realização da furação.

Através de estudos mais aprofundados sobre a influência da redução no tamanho dos fragmentos nas etapas subsequentes, pode-se determinar qual a malha que melhor se adequa no processo, interligando todas as operações mineiras de perfuração, desmonte, carregamento, transporte e britagem primária.

Em uma bancada que já está em processo de exploração, alguns problemas operacionais podem ocorrer para gerar tal alteração. Pode ser necessário realizar desmontes com geometrias não-convencionais, comprometendo a fragmentação e produtividade da mina.

Entretanto, pode-se planejar os próximos níveis que serão abertos através do software, garantindo a exequibilidade do projeto desde o início e com grande aderência, tornando realidade tudo o que foi proposto.

Utilizando o software Deswik é possível aplicar as alterações de forma sólida e planejar os layouts de plano de fogo necessários para atingir o objetivo final de uma maneira que não interfira na fragmentação ou produtividade das operações.

Portanto, modificando a orientação da face do talude de avanço para N35°E, fará com que grande parte das descontinuidades se apresente de maneira paralela à face livre, podendo gerar ganhos próximos ao que foi descrito no presente trabalho, em função das premissas que foram levadas em consideração.

REFERÊNCIAS

- [1] ENERGIA, Ministério de Minas e (2015). **Setor mineral representa 4 por cento do PIB brasileiro.**
- [2] VALVERDE, Fernando Mendes (2001). **Agregados para construção civil.** Publicação Agência Nacional de Mineração.
- [3] SINDIPEDRAS (2020). **Britas: importância, necessidade e imprescindibilidade para a vida humana.** Sindicato da Indústria de Mineração de Pedra Britada do Estado de São Paulo.
- [4] DNPM (2015), **Cadastro Nacional de Produtores de Brita.**
- [5] ANEPAC (2014). **Mercado: perspectivas para o setor de agregados.** Perspectivas para o Setor de Agregados.
- [6] CURTI, A. (2014). **Minas a Céu Aberto: Planejamento de lavra.** Oficina de textos.
- [7] QUAGLIO, Osvail André (2003). **Otimização da perfuração e da segurança nos desmontes de agregados através dos sistemas laser profile e boretrak.** 2003.182 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- [8] TEOTÓNIO, Rui Manuel Teixeira (2010). **Estudo da influência da fragmentação no custo da produção de agregados graníticos.** 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geotécnica e Geoambiente, Instituto de Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2010.
- [9] KOPPE, Jair Carlos (2007). **A lavra e a indústria mineral no Brasil: Estado da arte e tendências tecnológicas.** Mineralis, Belo Horizonte, p.1-22.
- [10] QUAGLIO, Grupo (2020). **Produtos.**
- [11] SCOTT, A (1996). **Blastability and Blast Design. Rock Fragmentation by Blasting.** Rotterdam: Balkema, p 27- 36.
- [12] FIORI, A.P.; CARMIGNANI, L (2009). **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas.** 2. ed. rev. e ampl. Curitiba: Ed. UFPR.
- [13] SILVA, Anne Caroline da (2016). **Análise estrutural do maciço rochoso para orientação otimizada da face livre em pedra localizada no distrito de Pão de Açúcar, município de Taquaritinga do Norte, Pernambuco.** 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
- [14] PEREIRA, Ana Íris Aparecida Silva; CASALECCHI, Bruno Oberdan Vicentin (2018). **Caracterização e aplicação da análise estrutural para orientação do plano de fogo: Estudo de caso da Pedreira Mogiana em Mogi Mirim.** 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas.
- [15] NEME, Milton Brigolini et al (2011). **Realização de projeto de lavra de mina subterrânea com utilização de aplicativos específicos.** Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 64, n. 4, p. 519-524.
- [16] DESWIK (2020). **About us.**
- [17] QUAGLIO, Filipe de Pieri (2019). **Caracterização Tecnológica de Rochas de Pedreiras das Regiões de Campinas e Baixa Mogiana (SP).** 2019. 29 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas.