



SECRETARIA DA EDUCAÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS GURUPI
CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TASSILA SILVA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE BERMAS DE TALUDE EM FINAL DE FASE: ESTUDO DE
CASO EM MINA DE COBRE NO SUDESTE DO PARÁ**

**GURUPI
2022**

TASSILA SILVA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE BERMAS DE TALUDES EM FINAL DE FASE: ESTUDO DE
CASO EM MINA DE COBRE NO SUDESTE DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
Superior de Bacharelado em Engenharia
Civil, do Instituto Federal do Tocantins,
Campus Gurupi.

Orientador (a) Prof. Ma. Kárita Christina
Soares Kanaïama Alves

Coorientador Engº Riquett Bezerra Dantas
de Oliveira

**GURUPI
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S586a Silva, Tassila Silva da
AVALIAÇÃO DE BERMAS DE TALUDE EM FINAL DE FASE:
ESTUDO DE CASO EM MINA DE COBRE NO SUDESTE DO PARÁ
/ Tassila Silva da Silva. – Gurupi, TO, 2023.
49 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Gurupi, Gurupi, TO, 2023.

Orientadora: Ma. Kárita Christina Soares Kanaïama Alves
Coorientador: Esp. Riquett Bezerra Dantas de Oliveira

1. Largura de berma. 2. Desmonte. 3. Cava da mina. I. Alves,
Kárita Christina Soares Kanaïama. II. Oliveira, Riquett Bezerra
Dantas de. III. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

TASSILA SILVA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE BERMAS DE TALUDES EM FINAL DE FASE: ESTUDO DE
CASO EM MINA DE COBRE NO SUDESTE DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
Superior de Bacharelado em Engenharia
Civil Instituto Federal do Tocantins, como
exigência à obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Civil.

Aprovado em: 07/12/2022

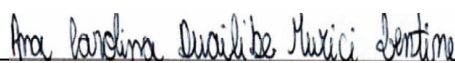
BANCA EXAMINADORA



Prof. Ma. Kárita Christina Soares Kanaïama Alves
IFTO – Campus Gurupi



Engº de Minas Riquett Bezerra Dantas de Oliveira



Engº de Civil/Minas Ana Carolina Duailibe Murici Lentine

*“Quando clamei, tu me respondeste:
deste-me força e coragem.”
Salmos 138:3*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido a oportunidade de adquirir tais conhecimentos nos últimos anos. Foi uma longa caminhada e em todos os momentos pude sentir sua presença ao meu lado, me encorajando e dando forças para seguir meu propósito.

A minha querida e amada Vovó Januária (In memoriam) fez parte da minha criação, me influenciou a ser uma mulher forte, independente e corajosa, sei que de onde estiver, continua cuidando de mim.

Aos meus pais, Miguel e Analice, sempre fizeram o possível e impossível para que fosse atrás dos meus sonhos e me motivam a continuar.

As minhas irmãs, Cássia, Thaysla e Vitória. Em especial a Cássia, minha irmã mais velha, minha parceira, melhor amiga e confidente, agradeço por tudo que vivemos juntas e que ainda vamos viver.

Agradeço ao Gerson Celestino e Lucas Corrêa pela oportunidade de expandir meus conhecimentos no mundo da mineração.

A equipe da geotecnia, especialmente meus colegas de trabalho, Riquett, Adriano e Jean. Riquett, agradeço imensamente pela oportunidade de poder participar dessa pesquisa, suas orientações e ensinamentos contribuíram na minha vida profissional e pessoal. Adriano, agradeço por todo o aprendizado, conselhos e a confiança que tem no meu desenvolvimento. Jean, obrigada por compartilhar comigo seus conhecimentos e sua determinação.

Agradeço à minha orientadora Prof. Ma Kárita, pela paciência, compreensão, ensinamentos ao longo da graduação e por vibrar com as minhas conquistas.

A Ana Carolina, que me incentivou e orientou, quando mal sabia o que era o ramo da mineração, agradeço a paciência.

Aos amigos que a faculdade me deu, vocês sem dúvidas fizeram com que essa trajetória fosse mais divertida e leve, Ana, André, Caio, Fernanda, Gustavo, Mateus, Matheus, Moni, Queila, Sarah, Thatyelle e Wallace.

Agradeço aos meus professores, por todo o conhecimento passado, em especial Áurea, Mauro e Rodrigo. Vocês foram muito mais que professores nessa caminhada.

Por fim agradeço aos amigos que a vida me deu, Iza, Julia, Gama, Rafaela, Debora, Fabianna, Kerola, Maria Fernanda (e família), Rosiane, Michele, Ciane e Jéssica F. Jéssica C e Samaria.

RESUMO

A mineração a céu aberto é um método comumente usado para a extração de minérios, um dos parâmetros conhecido pelo método é a profundidade da mina. Possui o formato de um buraco e a lavra pode ocorrer através de bancadas, esses bancos seguem uma configuração de acordo, com a setorização da cava. Para a extração do minério é usado o processo de perfuração e desmonte do maciço rochoso com o uso de explosivo, apesar de ser um meio eficaz, para a fragmentação da rocha, é preciso ter cuidado para não comprometer o limite do polígono a desmontado, com energia liberada pelo o explosivo. As bermas são elementos principais para manter uma mina estável, com a deformação dessa área, expõem as operações e empregados em perigo. Este trabalho desenvolve-se, por meio da pesquisa quantitativa e pelo o método empírico com auxílio de um software, o mapeamento e avaliação dos *overbreak* nas bermas da cava em final de fase de uma mineradora do sudeste do Pará. Mediu-se as larguras de *overbreak* presente nos setores da cava e em seguida analisou-se o impacto das anomalias pela litologia com o intuito de encontrar alguma relação. Obteve-se as medidas máximas, médias e mínimas dos polígonos por setorização, com o objetivo de observar a região mais danificada pelo o *overbreak*. A litologia da rocha apresentou-se dados similares à setorização, indicando a média da largura de bermas comprometidas de 4m.

Palavras-chave: Cava. Desmonte. Setorização. *Overbreak*.

ABSTRACT

Opencast mining is a commonly used method for extracting ores, one of the parameters known for the method is the depth of the mine. It has the shape of a hole and mining can take place through benches, these benches follow a configuration according to the sectorization of the pit. For the extraction of the ore, the process of drilling and dismantling the rocky mass is used with the use of explosives, despite being an effective means, for the fragmentation of the rock, care must be taken not to compromise the limit of the polygon to be dismantled, with energy released by the explosive. The berms are key elements to keep a mine stable, with the deformation of this area, exposing operations and employees in danger. This work develops, through quantitative research and the empirical method with the aid of software, the mapping and evaluation of the overbreak on the pit berms at the end of the phase of a mining company in the southeast of Pará. The overbreak widths present in the pit sectors were measured and then the impact of the anomalies was analyzed by lithology in order to find some relationship. The maximum, average and minimum measures of the polygons were obtained by sectorization, with the objective of observing the region most damaged by the overbreak. The rock lithology presented data similar to sectorization, indicating the average width of compromised berms of 4m.

Keywords: Pit. Blasting. Sectorization. Overbreak

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Lavra a céu aberto.	18
Figura 2 - Estrutura da cava.	19
Figura 3 - Representação do talude.	21
Figura 4 - Tipos de ruptura.	22
Figura 5 - Parâmetros da bancada.	27
Figura 6 - Ruptura da rocha.	29
Figura 7 - Localização geral da mina.	31
Figura 8 - Cava.	32
Figura 9 - Litologia da cava.	33
Figura 10 - Setorização.	34
Figura 11 - Plano de perfuração.	35
Figura 12 - Esquematização do desenvolvimento da pesquisa.	36
Figura 13 - Nuvens de pontos.	37
Figura 14 - Projeção no Deswik.	38
Figura 15 - Elementos mapeados.	39
Figura 16 - Polígono avaliado.	39
Figura 17 - Cava mapeada e avaliada.	41
Figura 18 - P3_187_016.	44
Figura 19 - L2_187_027.	44
Figura 20 - P4_217_004.	45
Figura 21 - P4_157_004.	46
Figura 22 - P4_097_007.	46
Figura 23 - P4_217_003.	46
Figura 24 - Histograma de <i>overbreak</i> por setor.	47
Figura 25 - <i>Overbreak</i> por setor.	48
Figura 26 - Histograma de <i>overbreak</i> por litologia.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição da litologia.	32
Tabela 2 - Características de cada setorização.	33
Tabela 3 - Lista de polígonos avaliados.	36
Tabela 4 - <i>Overbreak</i> .	41
Tabela 5 - Larguras de bermas efetivas.	42
Tabela 6 - Medidas das Seções no Setor I-I.	43
Tabela 7 - Medidas das Seções no Setor I-II.	45
Tabela 8 - Medidas das Seções no Setor II-I.	45
Tabela 9 - Medidas das Seções no Setor II-II.	46
Tabela 10 - Medidas das Seções no Setor III.	47
Tabela 11 - Medidas das Seções no Setor IV.	47
Tabela 12 - Setores mais impactados.	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Problema de pesquisa	15
1.2 Justificativa	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivos gerais	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Mineração	17
2.1.1 Cobre	17
2.2 Método de lavra em céu aberto	18
2.3 Lavra em bancadas	19
2.4 Geometria dos bancos	19
2.5 Estabilidade de taludes	20
2.6 Movimento de massas	23
2.7 Maciço rochoso	23
2.7.1 Rochas ígneas	24
2.7.2 Rochas metamórficas	25
2.7.3 Rochas sedimentares	25
2.8 Polígonos de detonação	26
2.9 Plano de perfuração	26
2.9 Desmonte de rochas com explosivos	27
2.9.1 Fragmentação	28
2.9.2 Anomalias	29
2.10 DESWIK	30
2.11 Histograma	30
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	31
3.1 Área de estudo	31
3.1.1 Mina	32
3.1.2 Litologia	32
3.1.3 Setorização	33
3.1.4 Elaboração do plano para detonação	34
3.2 Métodos e materiais	35
3.2.1 Georreferenciamento da cava	37
3.2.2 Processamento no Deswik	37
3.2.3 Mapeamento dos elementos	38
3.2.4 Área do polígono	39
3.2.5 Litologia e setorização	40
3.2.6 Importação de dados	40

3.2.7 Histogramas e tabelas	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1 Elementos da avaliação	43
4.2 Avaliação de overbreak por setorização	43
4.3 Avaliação de overbreak por litologia	49
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A mineração a céu aberto por bancada é um método muito econômico, que permite o uso de máquinas de grande porte e o aumento da produtividade é significativo em relação a outros métodos. Muitas minas usam esse método para atingir a profundidade de mineração superior a 200 m, com o intuito de obter o maior beneficiamento econômico, por meio da extração do minério (CORDEIRO, 2022).

Para Bastos (2013) realizar a exploração do minério em mina a céu aberto envolve muitos fatores, sendo que um dos principais é a determinação das configurações dos taludes. O dimensionamento dos taludes são pontos decisivos para o desenvolvimento da cava. A geometria dos taludes finais da mina não corresponde exclusivamente para as características econômicas, mas também para a estabilidade da estrutura da cava.

As bancadas são moldadas de acordo com os polígonos desmontados. O ciclo de perfuração e detonação é o método mais comumente usado para obtenção de minério na lavra a céu aberto. A detonação do minério é conduzida por meio da fragmentação da estrutura do maciço rochoso, para permitir a remoção mecânica.

A técnica da fragmentação do maciço rochoso usando explosivos envolve o planejamento da perfuração dos furos, carregamento e o sequenciamento da detonação. Durante a detonação, o explosivo atua no corpo rochoso submetendo uma compressão extrema na região, fragmentando o material (CARLI, 2013).

Para Dorneles (2013), o desmonte de um polígono executado de forma ineficiente pode ocasionar o aumento de bermas com deformações, apresentando em sua estrutura *overbreak* e *underbreak*, além de comprometer a segurança das operações da cava.

Para identificação dessas anomalias de forma mais clara, é muito comum, o uso de software que permita uma avaliação precisa e visual sobre as condições da cava. Diante a importância do desenvolvimento deste trabalho o objetivo deste estudo é avaliar as condições das bermas da cava da mina.

1.1 Problema de pesquisa

A mina avaliada neste trabalho está localizada na província mineral de Carajás, no sudeste do Pará e é reconhecida por ter uma das maiores reservas de cobre no território brasileiro. O depósito mineral é mapeado por fases, alguns estão em desenvolvimento e outros em pit final, considerados como o fim da extração do minério naquela região, como a fase IV.

A fase IV é um depósito de cobre sulfetado explorado a partir do método de lavra por bancada em céu aberto, conhecida como cava. A extração ocorre através dos desmontes de rochas maciças com explosivos, resultando na fragmentação da rocha. O desmonte é feito a partir de um planejamento, visando minimizar os danos nas estruturas.

A elaboração do plano de perfuração é feita de acordo com os parâmetros geométricos de cada setor, determinados por meio de pesquisas geológicas. Infelizmente, a empresa vem enfrentando dificuldades em manter esses parâmetros na execução das bermas dos taludes, ocasionando no surgimento de anomalias nas bancadas.

1.2 Justificativa

A berma atua como barreira física na estabilização dos taludes e deve atender todos os parâmetros programados para fornecer a segurança necessária para a cava da mina. Quando a detonação de um polígono não acontece de forma eficiente, os elementos mais comprometidos são a face do talude juntamente com a berma.

Nesses casos, acontecem o *overbreak* que é a sobrequebra nos furos ou *underbreak*, que é a ineficiência da fragmentação da rocha. Ambos prejudicam o desenvolvimento da cava, dado que as bermas são projetadas para contribuir na estabilidade do talude. Tendo em vista esse contexto, este estudo se mostra relevante pois procura avaliar as condições das bermas da cava da mina e encontrar a possível causa das anomalias.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos gerais

O objetivo geral deste estudo é fazer um diagnóstico das bermas dos taludes em final de fase na mina de cobre do sudeste do Pará, por meio de avaliações de *overbreak* dos desmontes já realizados, bem como verificar a geometria da berma planejada e a executada por meio de software e gráficos.

1.3.2 Objetivos específicos

Objetivos específicos serão obtidos pela coleta de dados e o uso do software Deswik, que visam:

- Projetar a cava e mapear a crista e o pé do talude no software;
- Criar seções da berma executada e projetada;
- Identificar qual a largura de *overbreak* máxima, média e mínima nas bermas por setorização;
- Observar a influência da litologia no *overbreak*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mineração

Segundo Moraes et al. (2014) o setor da mineração é um dos ramos fundamentais da economia do país, contribui significativamente para o bem-estar e qualidade de vida da população. Farias (2002) considera essa atividade essencial para o desenvolvimento de uma sociedade justa, desde que esse ato seja administrado com responsabilidade, seguindo todas as normas vigentes de desenvolvimento sustentável.

A mineração é uma atividade que envolve a extração de depósitos minerais valiosos e beneficiamento desse minério. Esse minério é extraído de forma mecanizada na crosta terrestre (VALADÃO; ARAÚJO, 2007).

As etapas principais do processo de mineração acontecem a partir da pesquisa geral no território, preparação, desenvolvimento da lavra e o beneficiamento do minério:

A mineração abrange, portanto, o conjunto de atividades necessárias para a obtenção de um produto mineral bruto, de um concentrado ou de um aglomerado, destacando-se as seguintes: (i) a lavra: extração mineral e transporte interno; e (ii) o beneficiamento, que constitui, basicamente, as etapas de cominuição (britagem e moagem), classificação, concentração e/ou aglomeração. O processo de beneficiamento mineral, inclusive na aglomeração, envolve apenas mudanças físicas no minério (MESQUITA; CARVALHO; OGANDO, 2016, p. 328).

2.1.1 Cobre

A maior parte do cobre do mundo é obtida a partir de sulfetos minerais encontrados em diferentes minérios, como calcocita, enargita covelita, e calcopirita. O processamento desse mineral ocorre em três etapas fundamentais: extração do minério, separação dos agregados da rocha e, por fim, a purificação do cobre. O cobre é um metal onipresente na vida cotidiana, é usado em várias aplicações devido às suas características de condutividade elétrica (IBANEZ, 2022).

2.2 Método de lavra em céu aberto

A mineração a céu aberto, também conhecida como método de lavra a céu aberto, é um método de mineração que envolve o processo de escavação em uma área grande, sem nenhum processo de preenchimento, como pode ser visto na Figura 1. A superfície é escavada até uma certa profundidade, tendo como resultado, a formação de um grande buraco (CURI, 2017).

Figura 1 - Lavra a céu aberto.



Fonte: Autor (2022).

Para Domingo *et al.* (2015) esse método é usado quando o local da mineração tende a ser plano ou em uma área com topografia suave. Para a utilização desse tipo de mineração, certamente, requer inspeção e pesquisa aprofundada antes de realizar as escavações.

Adones (2012) afirma que a mineração a céu aberto tem um estágio bastante longo, podendo levar vários meses, até anos, dependendo do tamanho da área de mineração. O custo deste tipo de mineração é relativamente mais barato quando comparado aos métodos de mineração subterrânea.

As operações do ciclo de produção correspondem à perfuração da superfície, detonação e transporte do material. O método de lavra a céu aberto

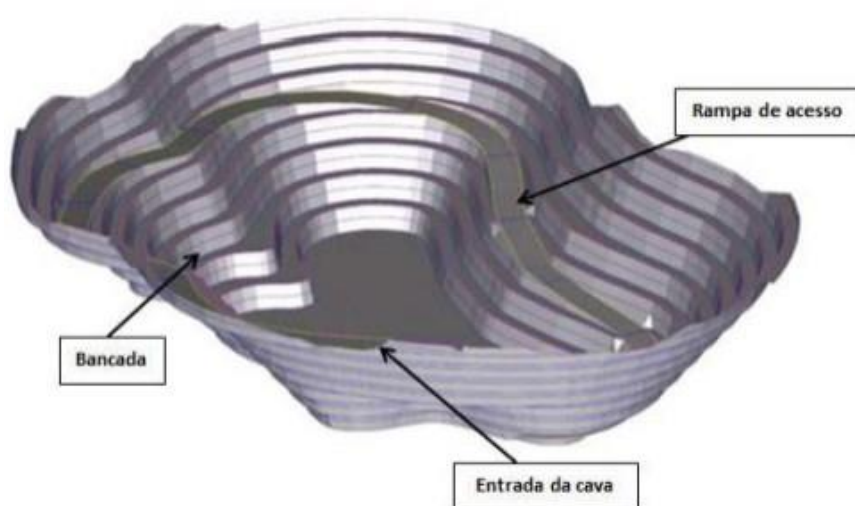
ocorre com o processo de exploração a seco da superfície da mina. A lavra pode ser classificada em três tipos, lavras em tiras, lavra de pedreiras e lavra em bancada (CORDEIRO, 2022).

2.3 Lavra em bancadas

De acordo com Bastos (2013) o método de lavra em bancada ou cava, acontece por extração mecânica de minérios que ocorre na superfície. Possui o formato de cone invertido e a lavra acontece no sentido decendente das bancadas. Para Ricardo e Catalani (2007) este método tem como característica principal os bancos horizontais que contornam o corpo mineral e as bancadas podem ter múltiplos bancos.

As vantagens desse método são a flexibilidade nas operações e a produção ser mais rápida devido as praças estarem mais acessíveis e visíveis para avaliações. Segundo Carli (2013) a bancada deve ter uma configuração conforme a Figura 2, na qual, os equipamentos possam locomover-se de forma segura.

Figura 2 - Estrutura da cava.



Fonte: Carli (2013).

2.4 Geometria dos bancos

De acordo com Evans (1989) existem vários fatores, que em conjunto contribuem para a geometria dos bancos a céu aberto. Os parâmetros são regidos em grande parte pelas propriedades do maciço rochoso e sua estabilidade no

contexto das tensões impostas, principalmente em estruturas que possuem predisposição para falhas, impulso ou cisalhamento na face da bancada.

As configurações do banco precisam satisfazer critérios para a estabilidade do maciço rochoso e conformidades dos equipamentos que transitam na região. A altura da bancada, ângulo da face e largura da berma devem ser escolhidos de acordo com o fator de segurança da mina, determinados pela geometria da setorização (WHYATT, 2004).

2.5 Estabilidade de taludes

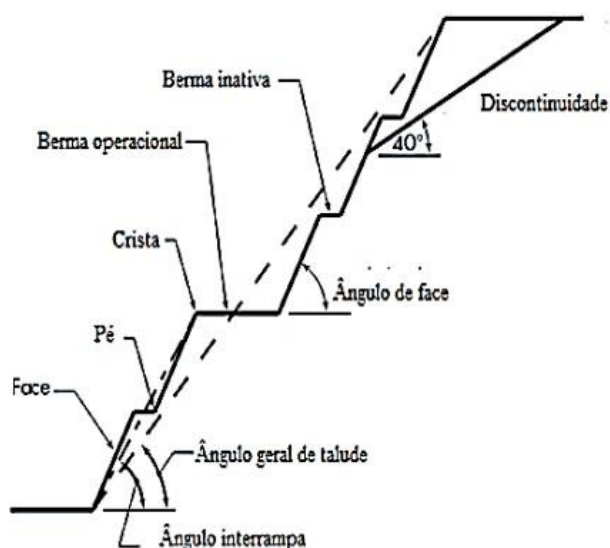
Para Melentijevic (2005) a geometria dos bancos desempenha um papel importante no caso da estabilidade de taludes. Os parâmetros dos taludes são definidos conforme as análises geotécnicas da mina. Deve-se considerar que na cava, taludes podem possuir diferentes inclinações devido à profundidade da escavação.

Segundo Kliche (2011) a inclinação é determinada pelo estudo das propriedades geomecânicas presentes na rocha, de modo que não prejudique o sistema operacional da mina. O ângulo de inclinação da cava é dividido em três categorias, ângulo da face, interrampa e geral, como pode ser visto na Figura 3.

Wyllie e Mah (2004) afirmam que os elementos essenciais de um projeto de cava são:

- (1) o ângulo de inclinação geral que vai do pé da escavação até a crista, o qual o mesmo contém todas as rampas e bancadas; (2) o ângulo interrampa se encontra entre cada rampa e depende do número de rampas e as suas larguras; e (3) o ângulo da face das bancadas que depende do espaçamento vertical entre elas, bem como a largura de qualquer berma nela incluído.

Figura 3 - Representação do talude.



Fonte: Kliche (2011)

Para Gerscovich (2012) a avaliação da estabilidade de taludes é realizada rotineiramente na mina, as análises de estabilidade de taludes requerem o conhecimento da geologia, hidrogeologia e geotecnia do local.

Em um talude, a instabilidade ocorre quando uma parte do maciço rochoso se move significativamente em relação a outra, que se mantém estável. Isso significa que as massas instáveis são delimitadas por superfícies que chamamos de superfícies de deslizamento (FIORI, 2015).

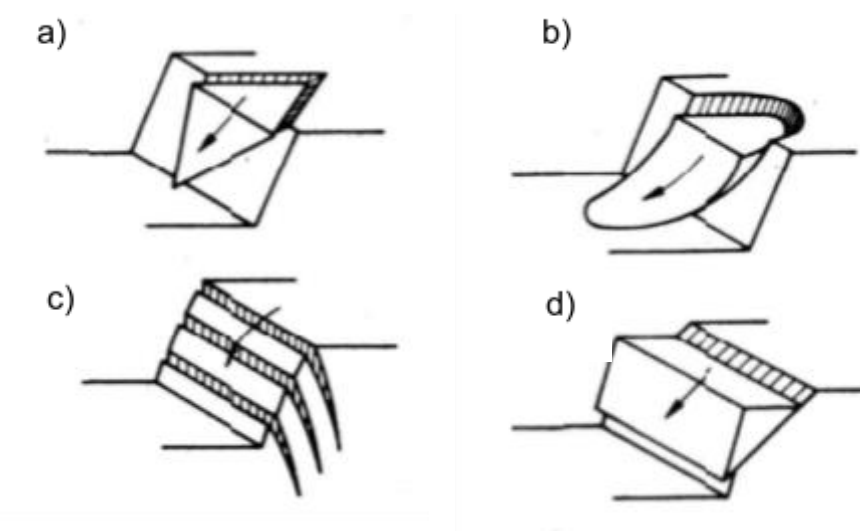
Nas superfícies deslizantes, as tensões estão na condição limite, ou seja, neles se verifica o critério de falha (FERREIRA, 2004). Para Hoek e Londe os principais tipos de falhas em bloco são, como visto na Figura 4.

- a) Falha em cunha ocorre o deslizamento de rocha em planos mutuamente inclinados e que se cruzam podendo acontecer em planos fracos devido à orientação desfavorável da face. O acúmulo de água com alta pressão podem levar a falhas repentinas nos planos críticos;
- b) Ruptura circular em enrocamento, ocorre em rocha muito fraca ou rocha fortemente fraturada com descontinuidades orientadas

aleatoriamente. Estes podem ocorrer em faces altas em materiais fracos, como siltes e argilas, rejeitos e pilhas de entulho. Rachaduras de tensão podem se formar atrás do declive e estes podem ser monitorados para dar alguma indicação do progresso do movimento;

- c) Falha por tombamento acontece em rocha dura com estrutura e faces excessivamente íngremes com espaços próximos e descontinuidades. O movimento resultante é devido a forças que causam um momento de capotamento em torno de um ponto de pivô abaixo do centro de gravidade do bloco. Se isso ocorrer, resultará em queda ou deslizamento do material;
- d) A falha planar pode ocorrer onde os planos fracos, como juntas, falhas e planos de acamamento; mergulham na escavação devido à orientação desfavorável da face. O acúmulo de altas pressões de água pode levar a uma falha repentina.

Figura 4 - Tipos de ruptura.



Fonte: Hoek e Londe (1974 - adaptado).

A NR 22 – Norma regulamentadora da mineração define que:

22.14 Estabilidade dos Maciços

22.14.1 Todas as obras de mineração, no subsolo e na superfície, devem ser levantadas topograficamente e representadas em mapas e

plantas, revistas e atualizadas periodicamente por profissional habilitado.

22.14.1.1 Devem ser realizadas, no mínimo a cada seis meses, medições topográficas para verificar a verticalidade das torres dos poços.

22.14.2 A empresa ou Permissionário de Lavra Garimpeira deve adotar procedimentos técnicos, de forma a controlar a estabilidade do maciço, observando-se critérios de engenharia, incluindo ações para: a) monitorar o movimento dos estratos; b) tratar de forma adequada o teto e as paredes dos locais de trabalho e de circulação de pessoal; c) monitorar e controlar as bancadas e taludes das minas a céu aberto; d) verificar o impacto sobre a estabilidade de áreas anteriormente lavradas e) verificar a presença de fatores condicionantes de instabilidade dos maciços, em especial, água, gases, rochas alteradas, falhas e fraturas.

2.6 Movimento de massas

Os movimentos de massa estão, geralmente, associados ao processo de intemperismo. Ocorrem nas encostas e taludes e podem evoluir de maneira muito lenta até a eventos catastróficos (RIFFEL (2016)). Tais eventos dependem de fatores predisponentes e de causas externas ou internas ao maciço .

Neste contexto, a geometria, as interferências climáticas, ações antrópicas e posição do nível d'água são condicionantes para a estabilidade ou não de um dado talude. Segundo Castro (2003) numa dada condição, a presença da água é determinante nos mecanismos de instabilização de um talude, por induzir a saturação dos maciços, promover aumentos das poropressões, resultando na eliminação de tensões capilares.

2.7 Maciço rochoso

O maciço rochoso é o conjunto formado por matriz rochosa e por descontinuidades, com caráter heterogêneo e comportamento descontínuo. A deformação de um maciço rochoso é causada pela relação que existe entre as tensões aplicadas e as deformações já existentes, que são definidas pelo próprio módulo de deformação (ALMEIDA, 2018).

Segundo Moraes (2004) a litologia é a descrição da rocha, feita com base nas propriedades do maciço rochoso, detalhando as características do corpo do maciço, como a cor, composição e origem. Em geral, rochas de baixa densidade são deformadas e quebradiças com bastante facilidade, exigindo fatores de energia relativamente baixos, enquanto rochas densas precisam de uma energia mais alta para atingir uma fragmentação satisfatória.

Para Ramírez (2006) as rochas possuem descontinuidades como estratificação dos planos, planos de laminação ou foliação, fraturas e juntas, que influenciam a propriedades físicas e mecânicas das rochas e, conseqüentemente, os resultados de uma detonação. Na mineração a céu aberto, o dano da parede causado pelo rompimento é um problema significativo.

O dano da detonação não só influencia na fragmentação da rocha, mas também pode causar problemas de instabilidade nos taludes da mina. O desempenho de detonação é determinado pela interação entre a detonação de um explosivo e o maciço rochoso circundante. O tipo do maciço rochoso influencia fortemente este processo (COSTA,2009).

2.7.1 Rochas ígneas

As rochas ígneas são formadas a partir da solidificação e resfriamento do magma. Este magma pode ser derivado de fusão parcial de rochas pré-existentes no manto ou na crosta de um planeta. Normalmente, a fusão das rochas é causada por um ou mais dos três processos, ou seja; um aumento na temperatura e uma diminuição na pressão ou uma mudança na composição (GONÇALVES, 2007).

São divididas em duas categorias principais: rocha plutônica (intrusiva) e rocha vulcânica (extrusiva). Rochas plutônicas ou intrusivas resultam quando o magma esfria e cristaliza lentamente dentro da crosta terrestre. Rochas vulcânicas ou extrusivas resultam do magma atingindo a superfície como lava ou material ejetado fragmentado, formando rochas como pedra-pomes ou basalto (RANCAN,2012).

2.7.2 Rochas metamórficas

As rochas metamórficas são o resultado do metamorfismo. O metamorfismo é a conversão do estado sólido de rochas ígneas e sedimentares sob a pressão do regime de temperatura da crosta (HUCKENHOLZ, 1982). Durante este processo os conjuntos minerais originais (magmáticos e sedimentares) são convertidos em novas montagens correspondentes às condições termodinâmicas ao longo de um tempo geológico.

Através dos diferentes processos metamórficos (regional, contato, cataclástico, etc.), a grande variedade de rochas originais e sua composição resultam em um amplo espectro de tipos de rochas metamórficas. Membros típicos desses tipos de rochas metamórficas são filitos, xistos, gnaisses, escarnitos, mármore, felsos, quartzitos, serpentinitos, e anfibolitos (OLIVEIRA, 2009)..

Como resultado do processo metamórfico, muitas rochas apresentam uma estrutura típica com elementos orientados paralelamente como eixos minerais e/ou fraturas e fissuras.

2.7.3 Rochas sedimentares

Todas as rochas sedimentares se originam pela deposição de sedimentos através de agentes como a água, vento ou gelo. São o produto de uma sucessão complexa e sequencial de processos geológicos que começam com a formação de rochas geradoras por meio de intrusão, metamorfismo, vulcanismo e elevação tectônica (SILVA,2005).

As rochas sedimentares são formadas a partir de partículas de areia, conchas, seixos e outros fragmentos de material. Juntas, todas essas partículas são chamadas de sedimentos. Gradualmente, o sedimento se acumula em camadas e, por um longo período de tempo, endurece em rocha (TUCKER,2014).. Geralmente, a rocha sedimentar é bastante macia e pode se quebrar ou desmoronar facilmente. Muitas vezes se pode ver areia, seixos ou pedras na rocha.

2.8 Polígonos de detonação

Um dos maiores desafios que o desmonte enfrenta na mineração é determinar os limites da área de explosão. Vários fatores influenciam esse processo: litologia, carregamento, perfuração, plano de perfuração. Para minimizar essa situação é indicada a elaboração do plano de perfuração de pré-corte (LEITE, 2018).

Para Stefani (2019) o pré-corte é usado para proteger o maciço rochoso remanescente, separando-o da área que será detonada. Esse contorno do polígono é criado por meio de uma fileira de furos feitos com a perfuratrizes de pequeno diâmetro com adição de cargas, que geralmente são disparadas instantaneamente antes da explosão do polígono de produção.

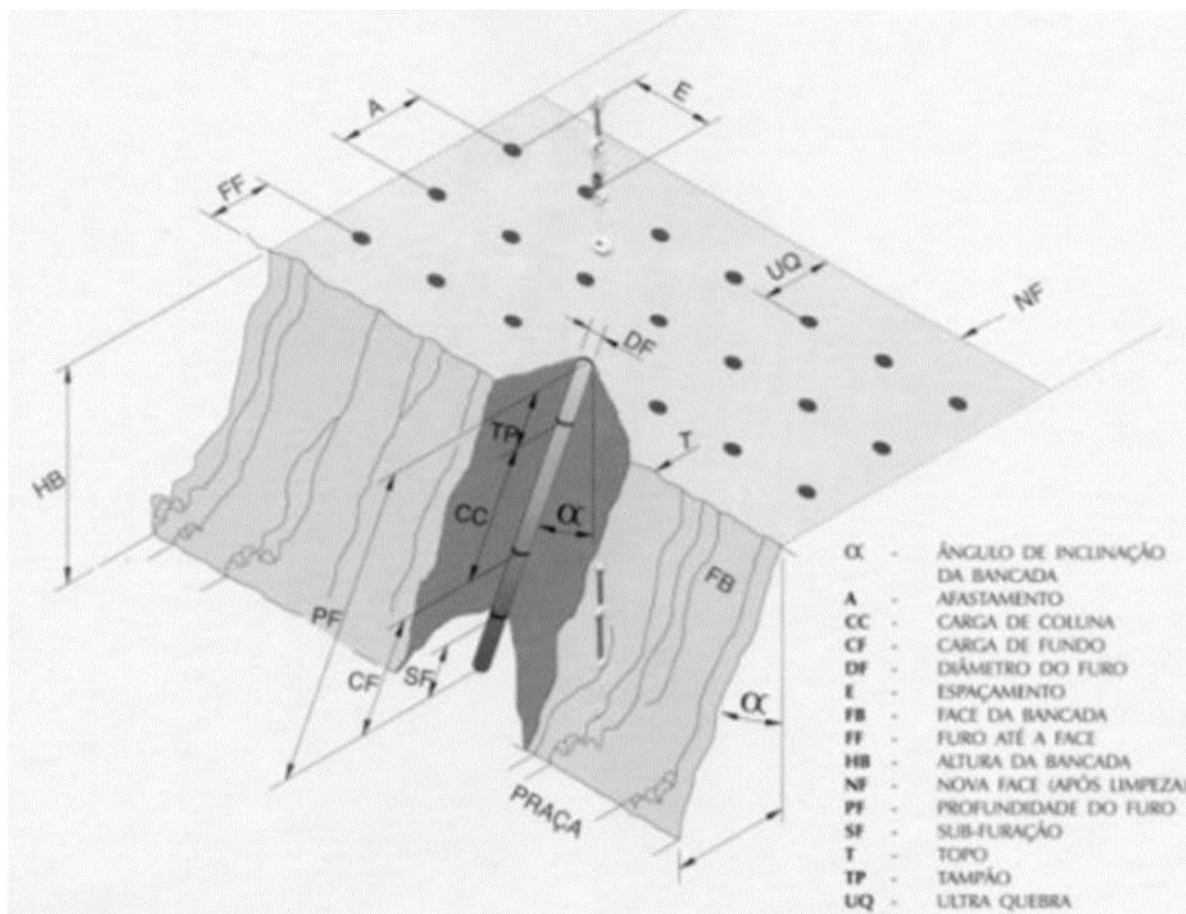
O uso do pré-corte reduz consideravelmente a quantidade de danos causados pela energia dos explosivos na rocha, diminuindo assim, o impacto gerado pelo polígono de produção. Ao ser disparado primeiro, evita as tensões de tração expostas pela explosão sobre a face do talude (TEIXEIRA, 2010).

2.9 Plano de perfuração

O plano de perfuração é um projeto feito para a programação do desmonte de rochas. Possui configurações que facilitam o entendimento durante a execução da perfuração. Como todo projeto, pode ser alterado de acordo com as necessidades do polígono a ser desmontado (ALVES, 2021).

Amorim (2019) descreve que os parâmetros do plano de perfuração devem levar em consideração a altura da bancada, diâmetro do furo, profundidade do furo, subfuração, inclinação do furo, afastamento e espaçamento, como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Parâmetros da bancada.



Fonte: Google (2022).

2.9 Desmonte de rochas com explosivos

Santana (2019) afirma que a detonação com explosivos tem a capacidade de fragmentar rapidamente uma rocha, mesmo que tenha o maior índice de resistência. A técnica de quebra de rocha usando explosivos envolve a perfuração dos furos da superfície, carregamento dos furos e detonação.

Quando um explosivo, confinado em uma cavidade esférica dentro de um maciço rochoso, é detonado, a pressão criada dentro da cavidade exerce uma força na direção radial. A rapidez com que a pressão dentro da cavidade é gerada, causa uma onda de tensão compressiva que se move radialmente em todas as direções do furo (HUSTRULID, 1999).

Para Dornelles (2013) a ação fundamental por trás da desintegração da massa rochosa por uma explosão é a formação de uma cratera. A força de

arrancamento realmente exerce pressão sobre a massa rochosa através da placa. Essas forças, por sua vez, geram tensão de cisalhamento no maciço rochoso ao longo da superfície.

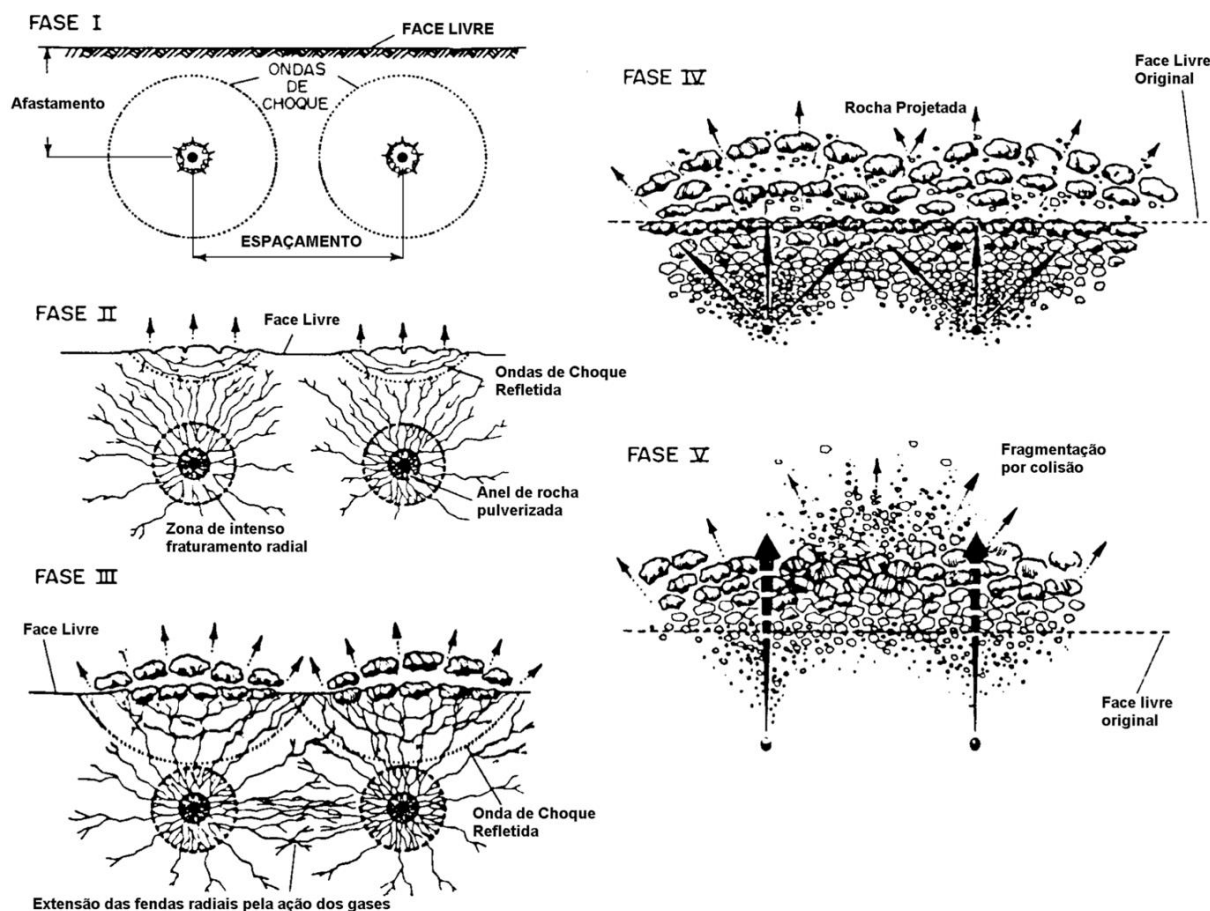
2.9.1 Fragmentação

Quando um explosivo detona, os ingredientes do explosivo são rapidamente convertidos em produtos gasosos a temperaturas e pressões muito altas. O esmagamento ocorre em torno de um parede do furo de detonação quando a pressão da frente de detonação excede a dinâmica da resistência à compressão da rocha. A tensão de saída gerada pela frente de detonação de alta pressão se dispersa e perde energia rapidamente (ZDAZINSKY, 2015).

A quebra da massa rochosa em fragmentos requer energia. Para qualquer peso específico do maciço rochoso, a área da superfície é inversamente proporcional ao tamanho dos fragmentos formados na fragmentação. Quando o maciço rochoso é detonado, o confinamento do explosivo nos furos gera pressões extremamente altas e uma enorme quantidade de calor (FRANÇA, 2021).

Braga (2018) contesta que quando a pressão e calor passa para o ambiente massa rochosa, a massa logo atrás da parede do furo de detonação é pulverizada em partículas muito finas. Isso acontece porque nessa região novas trincas são desenvolvidas devido à alta concentração de energia, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Ruptura da rocha.



Fonte: Silva (2013).

Os parâmetros da perfuração e detonação são as variáveis relevantes que influenciam os resultados da detonação. A incompatibilidade entre os parâmetros do plano de perfuração e a propriedade do corpo rochoso causam dissipação de energia no desmonte de rochas. Mais de 85% da energia de detonação é dissipada através do solo e pode produzir efeitos colaterais indesejáveis, como *backbreak*, fragmentação pobre, *underbreak* e *overbreak* (SILVA, 2015).

2.9.2 Anomalias

Backbreak é definido como o limite de rochas danificadas além da última linha de furos de produção (Jimeno et al. 1995). *Backbreak* é um fenômeno adverso nas operações de desmonte de rochas, o que causa redução da segurança devido à instabilidade das paredes da mina, alta diluição, aumento dos custos de

carregamento e transporte, má fragmentação, aumento no fluxo de água devido à rocha fraturada, e carga desigual em explosões subsequentes (SEN,1995).

Verma (2013) afirma que *overbreak* e *underbreak* são fenômenos recorrentes durante a escavação de uma cava, e os fatores causadores têm um grande impacto nas bermas das bancadas. Os fatores que causam ruptura nos bancos podem ser classificados em três categorias, fatores geológicos, detonação e propriedades geométricas da bancada.

O *overbreak* ocorre quando há uma sobrequebra atuando no maciço rochoso fazendo com que seja detonado além da crista projetada, causando uma deformação negativa na berma. O *underbreak* age de forma oposta. A causa dessa anomalia é a falta de carga em uma determinada região, fazendo com que a fragmentação fique longe da crista projetada (FRANKLIN *et al.*, 1989).

2.10 DESWIK

O Deswik é um software voltado para o planejamento de minas baseado na programação das atividades de mineração. A plataforma permite que o usuário crie sólidos, linhas e interfaces, podendo ser importados de outras plataformas como AutoCAD ou outros arquivos gerados pelo mesmo software (DESWIK, 2022).

2.11 Histograma

Um histograma é uma representação gráfica de uma distribuição de frequência agrupada com classes contínuas. É um diagrama de áreas e pode ser definido como um conjunto de retângulos com bases junto com os intervalos entre os limites das classes e com áreas proporcionais às frequências nas classes correspondentes (SOUZA, 2010).

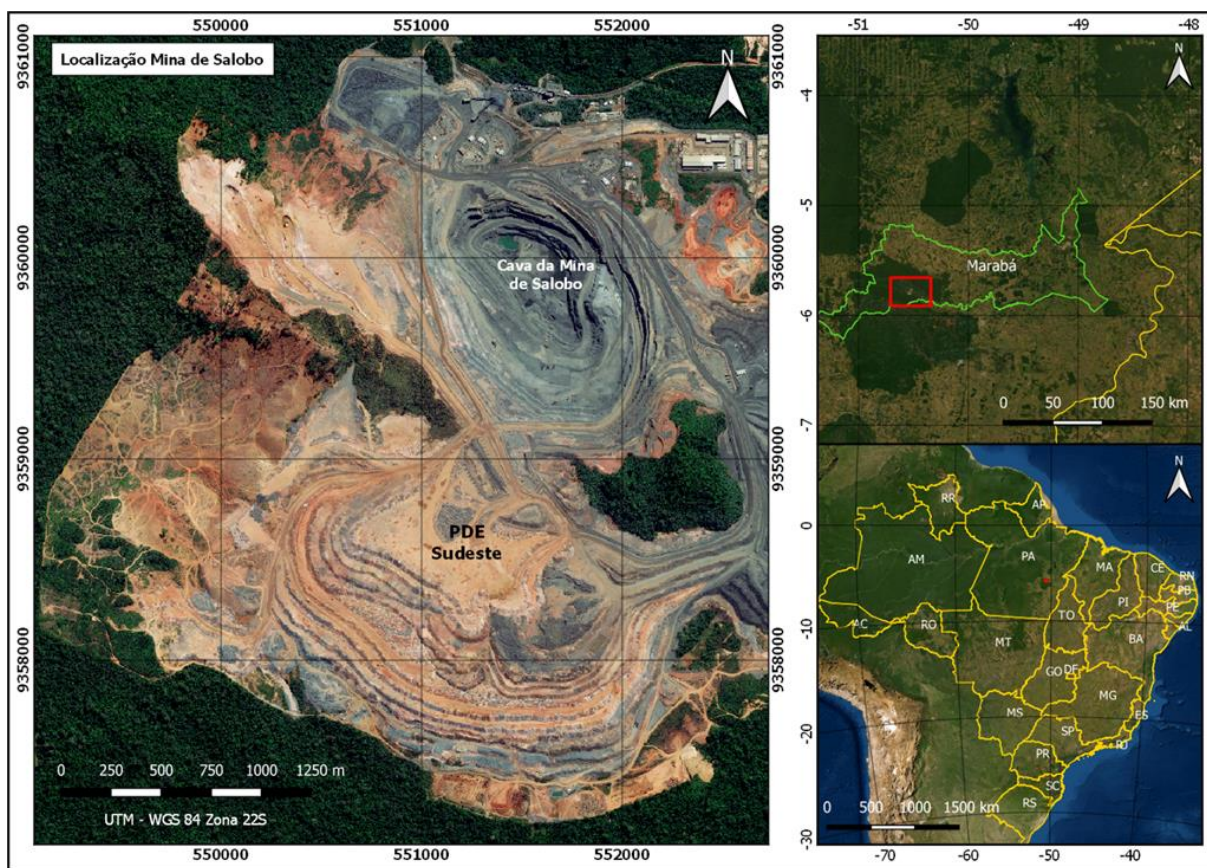
Segundo Kurokawa (2002), em tais representações, todos os retângulos são adjacentes, pois a base cobre os intervalos entre os limites das classes. As alturas dos retângulos são proporcionais às frequências correspondentes de classes semelhantes e, para classes diferentes, as alturas serão proporcionais às densidades de frequência correspondentes.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Área de estudo

A mina possui a maior jazida mineral de cobre encontrada no território brasileiro. Este empreendimento encontra-se na Floresta Nacional de Tapirapé-Aquiri, localizada nos municípios de Marabá-PA, a uma distância de 120 km de Parauapebas. 4,83% desta área correspondem à área de conservação. A Figura 7 mostra a localização geral da mina.

Figura 7 - Localização geral da mina.



Fonte: Autor (2022).

É um empreendimento minerador que proporciona a lavra e beneficiamento da jazida mineral. Além da extração do cobre, também são encontrados ouro e prata na região. As operações mineradoras tiveram início em novembro de 2012. Desde então, o volume de produção de metais nos seus 10 anos em operação, segue crescendo (VALE, 2018).

3.1.1 Mina

Atualmente as áreas de extração desses minérios são divididas por fase, IV, V e VI. Neste estudo vamos dar ênfase na fase IV, conhecida também, como a cava da mina, que se encontra em pit final. A cava é uma estrutura de extração de minério com método de lavra convencional, a céu aberto, com bancadas, conforme a Figura 8. Nos próximos anos a exploração neste local será encerrada.

Figura 8 - Cava.



Fonte: Autor (2022)

3.1.2 Litologia

A mina apresenta diferentes tipos litológicos do maciço rochoso. A empresa possui um mapeamento geológico que facilita a identificação. A Tabela 1 e a Figura 9 apresentam as litologias presentes na cava.

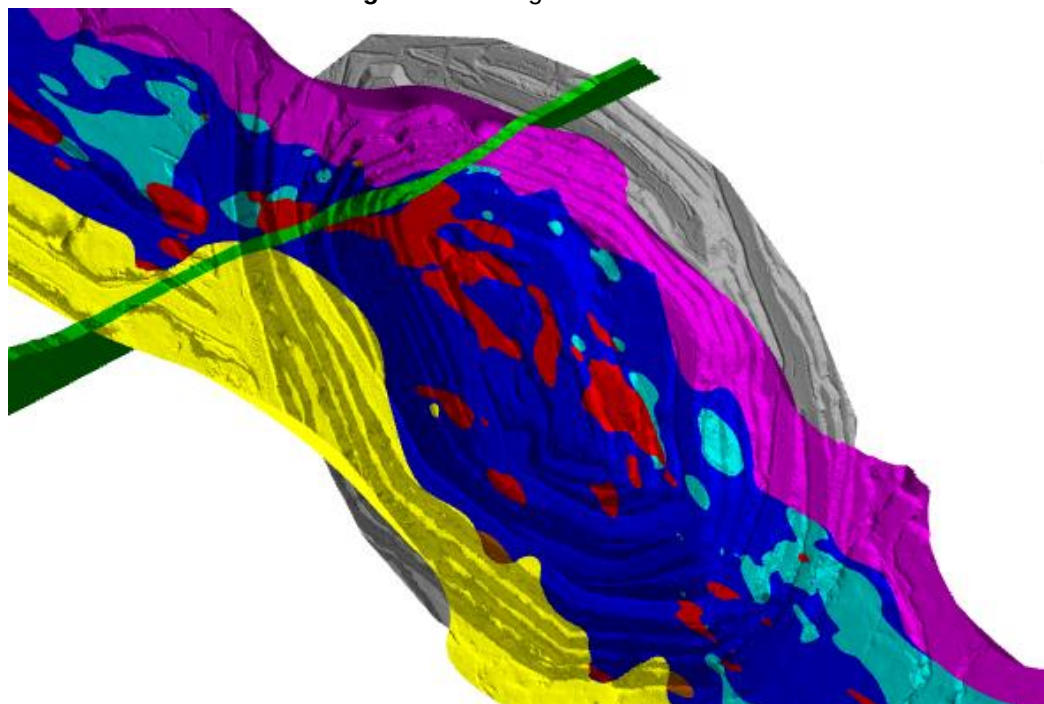
Tabela 1 - Descrição da litologia.

Siglas	Nomenclatura	Cores
BDX	Biotita-Xisto	Azul Escuro
ML	Milonito	Magenta

CLX	Clorita-Xisto	Marrom
DB	Diabásio	Verde
DGRX	Granada-Xisto	Azul Claro
GM	Granito Milonitizado	Cinza
QML	Quartzo Milonito	Amarelo
XMT	Xisto-Magnético	Vermelho

Fonte: Autor (2022)

Figura 9 - Litologia da cava.



Fonte: Autor (2022)

3.1.3 Setorização

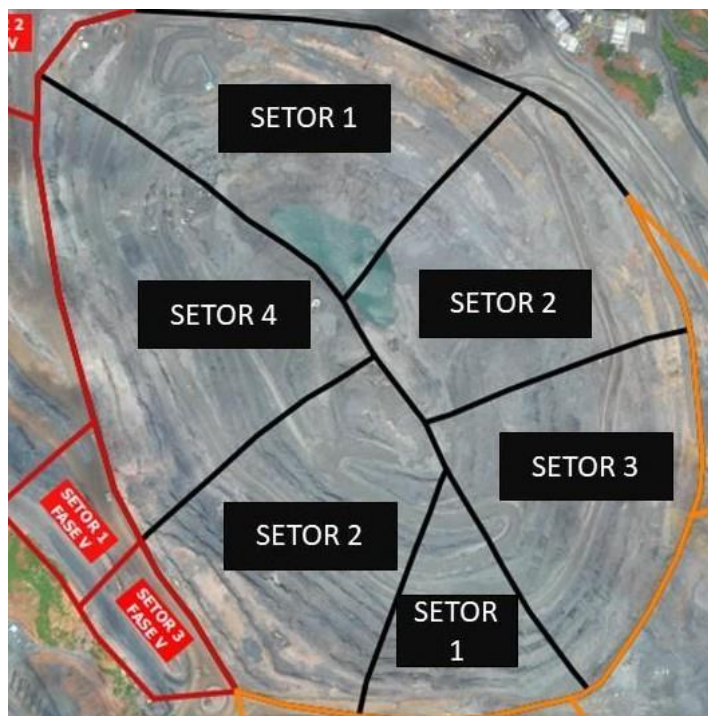
A cava é dividida por setores e cada setor possui uma geometria definida pela geotecnia, conforme apresentado na Tabela 2. Ao elaborar o plano de perfuração é necessário seguir essas informações (conforme a Figura 10) para manter a padronização da estrutura.

Tabela 2 - Características de cada setorização.

Setores	Altura do Talude (m)	Ângulo de Face (°)	Largura de Berma (m)
1	30	70	11
2	30	75	11
3	30	65	16
4	15	65	8

Fonte: Autor (2022)

Figura 10 - Setorização.

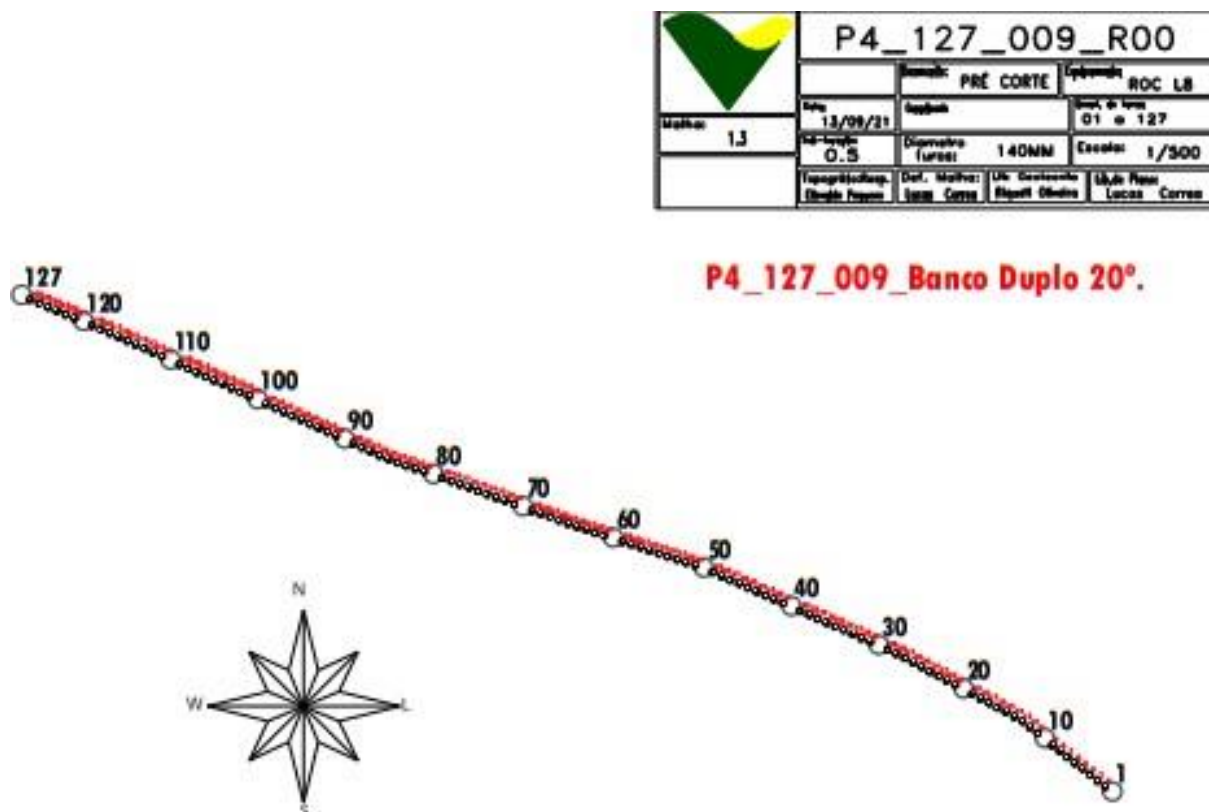


Fonte: Autor (2022)

3.1.4 Elaboração do plano para detonação

A equipe de planejamento é responsável por direcionar a área que será desmontada. A topografia realiza o plano de perfuração (como o mostrado na Figura 11) de acordo com as orientações geométricas da região.

Figura 11 - Plano de perfuração.



Fonte: Arquivo da empresa (2022)

3.2 Métodos e materiais

A abordagem da pesquisa foi realizada de forma quantitativa, desenvolvida em uma mineradora no sudeste do Pará. O trabalho abrange avaliação das bermas da cava em pit final em relação ao overbreak. Foram analisados 60 polígonos, conforme apresentado na Tabela 3, levando em consideração a setorização e a litologia presente no local.

O levantamento de dados iniciou-se com a coleta de informações necessárias para estruturar o projeto, arquivos com todos dados dos polígonos e a nuvem de pontos da superfície da cava.

Tabela 3 - Lista de polígonos avaliados.

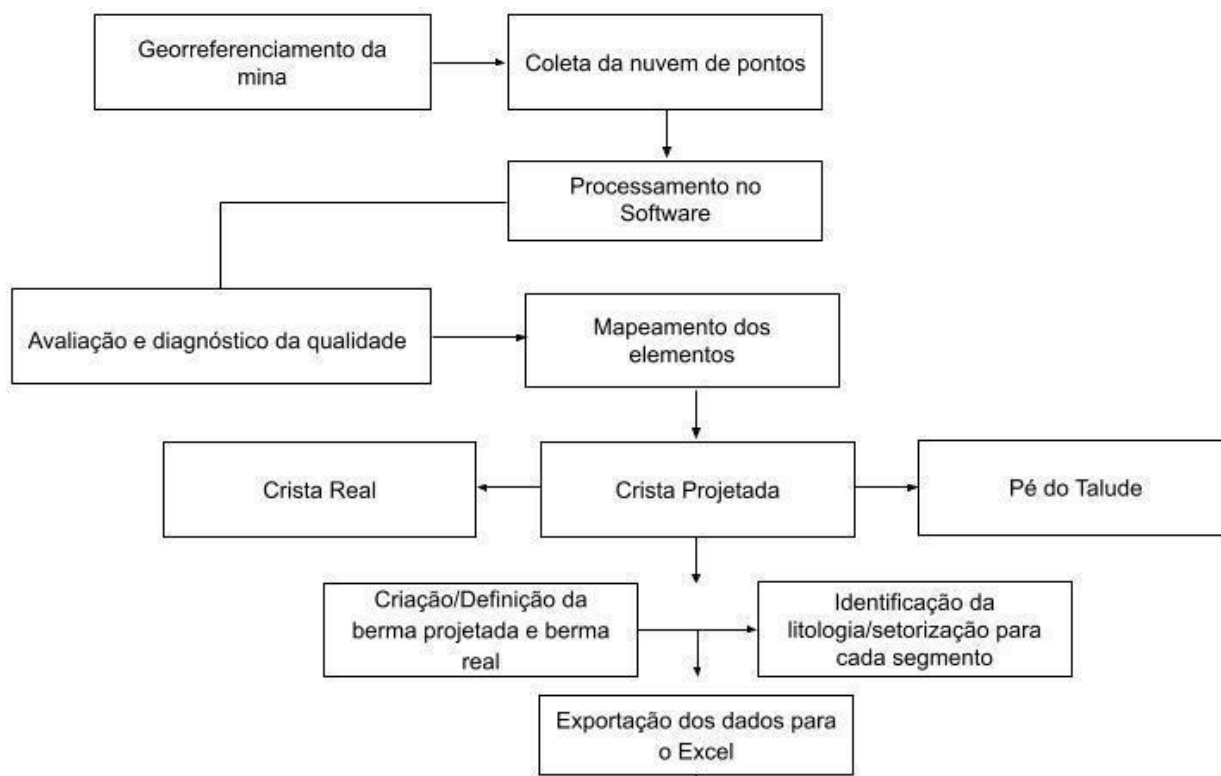
Polígonos		
P4_097_001	P3_127_003	P4_187_005
P4_097_002	P4_142_001	P4_187_006
P4_097_003	P4_157_001	P4_187_007
P4_097_004	P4_157_002	P4_217_001
P4_097_005	P4_157_003	P4_217_002

P4_097_006	P4_157_004	P4_217_003
P4_097_007	P4_157_005	P4_217_004
P4_097_008	P4_157_006	P4_217_005
P4_112_002	P4_157_007	P4_217_006
P4_112_003	P4_157_008	P4_217_008
P4_127_001	P4_157_009	P4_067_001
P4_127_002	P4_157_010	P4_067_002
P4_127_003	P4_157	P4_067_003
P4_127_004	P4_172_001	L4_082_010
P4_127_005	P4_172_002	L4_097_020
P4_127_006	P4_172_003	L2_187_020
P4_127_007	P4_187_001	L2_187_023
P4_127_008	P4_187_002	L2_187_026
P4_127_009	P4_187_003	L2_187_027
P4_127_010	P4_17_004	L3_187_016

Fonte: Autor (2022)

A metodologia detalhada está apresentada na Figura 12 com as principais atividades desenvolvidas no estudo.

Figura 12 - Esquematização do desenvolvimento da pesquisa.



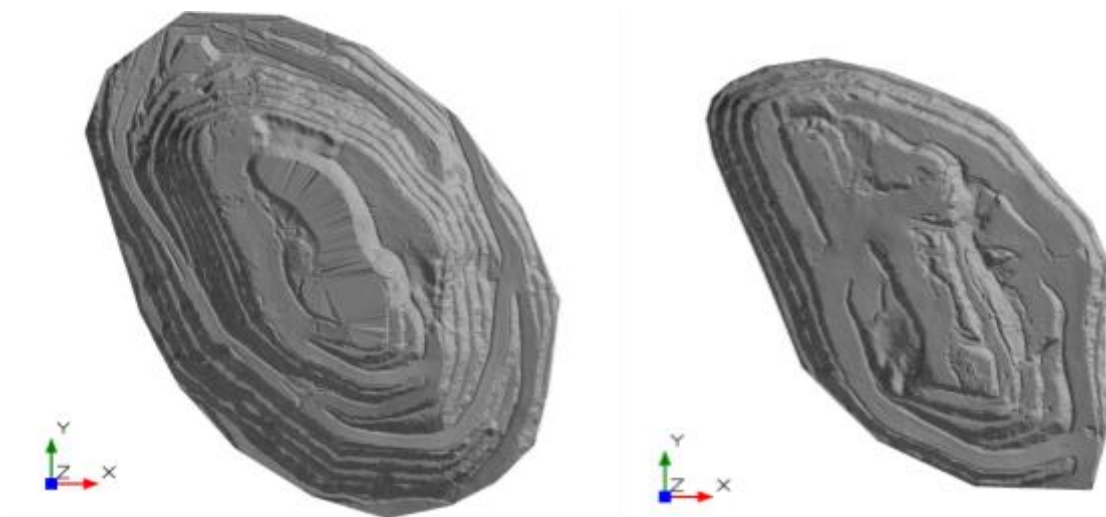
Fonte: Autor (2022)

3.2.1 Georreferenciamento da cava

Essa atividade é executada pela empresa duas vezes por semana, com o intuito de acompanhar o desenvolvimento da mina. As informações são capturadas a partir dos voos feitos através do mapeamento de alta precisão realizado pelo uso do VANT (veículo aéreo não tripulado). Com o avanço da cava foram usados dois arquivos de nuvem de pontos, para a elaboração da pesquisa.

A primeira aquisição das fotografias aéreas da estrutura da cava tem a data de 22 de abril de 2022. A segunda é a mais recente, 29 de setembro de 2022. A Figura 13 apresenta o avanço da cava ao longo deste intervalo de tempo.

Figura 13 - Nuvens de pontos.

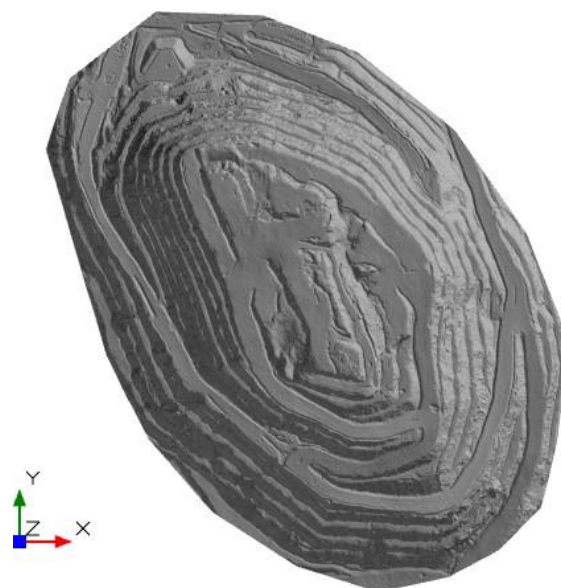


Fonte: Autor (2022)

3.2.2 Processamento no Deswik

Na etapa de processamento, consistiu-se na junção dos dois pontos de nuvens mencionados anteriormente. A projeção foi gerada no formato de arquivo “DUF”. O software Deswik possibilita ao usuário a visualização do levantamento anexado no formato 3D (coordenadas x, y e z), deixando aparente todos os elementos necessários para mapear a área de cada bancada, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Projeção no Deswik.

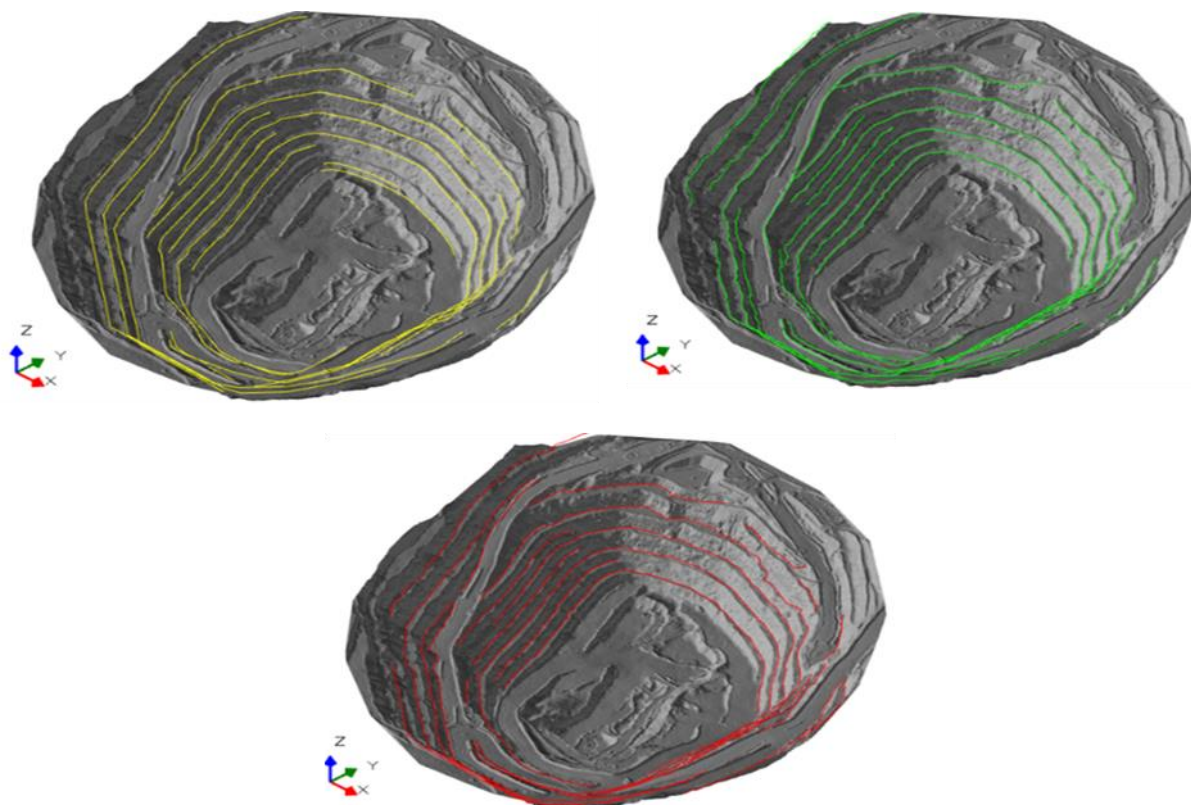


Fonte: Autor (2022)

3.2.3 Mapeamento dos elementos

A linha da crista de projeto usada nas avaliações, foram obtidas a partir dos arquivos do plano de perfuração de cada polígono, feitos pela topografia para a marcação dos furos em campo. Os arquivos foram exportados para o programa e traçadas as linhas nos pontos.

A Figura 15 apresenta as linhas de crista projetada (a), crista real (b) e pé do talude (c), ambos definidos conforme a modelagem da cava de forma manual, respeitando todos os desníveis aparentes após a realização do saneamento/limpeza da face e crista dos taludes

Figura 15 - Elementos mapeados.

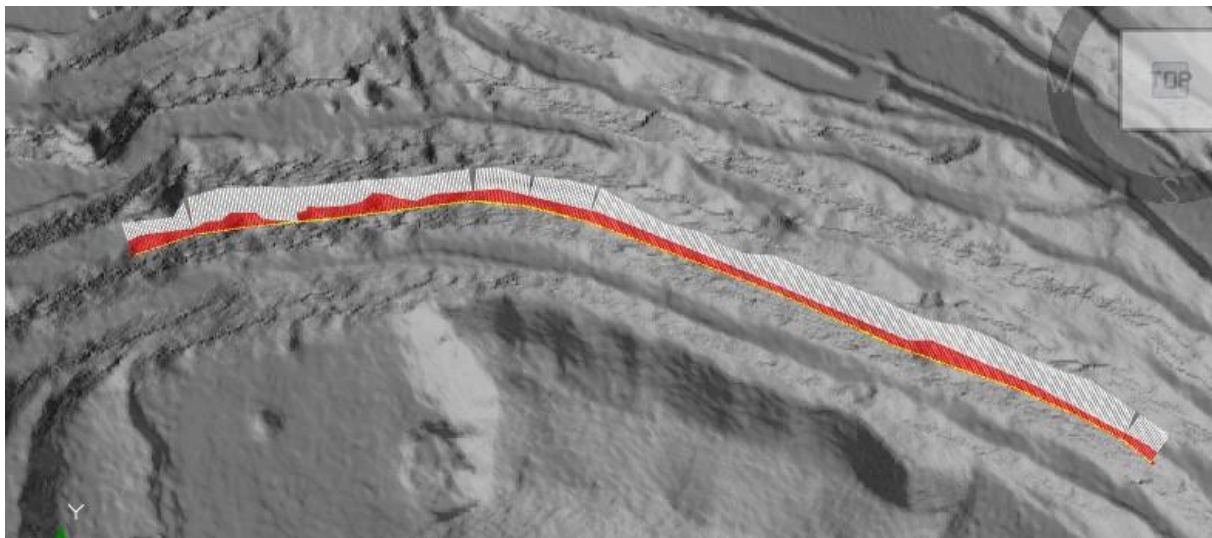
Fonte: Autor (2022)

3.2.4 Área do polígono

A área de cada polígono foi fatiada em seções transversais de metro em metro. Para visualizar melhor a situação da berma e gerar os dados avaliados para a análise do *overbreak*, foram criadas duas superfícies com as seções transversais iguais, alterando apenas a crista real e projetada.

A superfície com as linhas brancas representa as seções com a largura da berma executada e em vermelho a berma projetada. O software possibilita sobrepor elementos, para observar melhor as seções de *overbreak*, a superfície em branco foi dimensionada para ficar sobreposta a vermelha, conforme a Figura 16.

Figura 16 - Polígono avaliado.



Fonte: Autor (2022)

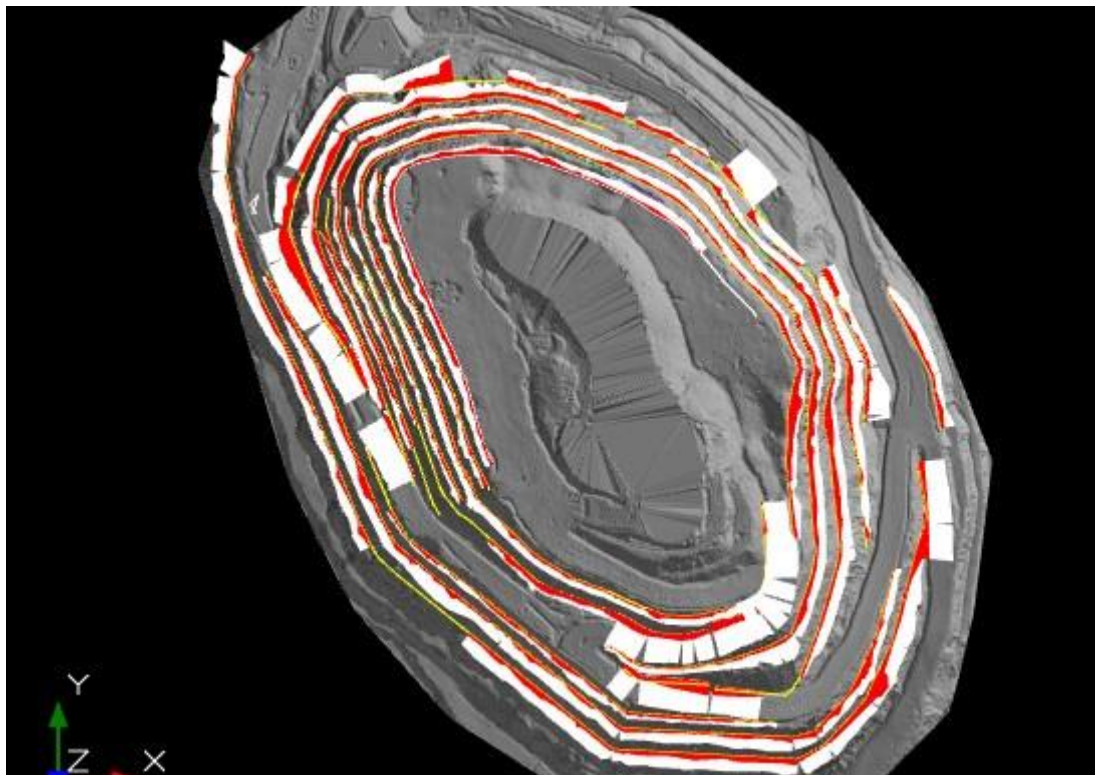
3.2.5 Litologia e setorização

Para identificar o setor e a litologia do polígono foram mapeadas as seções pertencentes a cada área. Com o auxílio das coordenadas foi feita a descrição de cada seção na tabela.

3.2.6 Importação de dados

Após finalizar o mapeamento, como mostra a Figura 17, os dados foram importados para o excel, com as informações da berma projetada e realizada. Para cada polígono criou-se um banco de dados com as seguintes informações:

- Polígono;
- Informações da geometria do talude;
- Litologia;
- Setorização;
- Coordenadas da seção;
- Quantidade de seções;
- Largura de berma executada;
- Largura de berma projetada;
- *Overbreak*.

Figura 17 - Cava mapeada e avaliada.

Fonte: Autor (2022)

O valor do *overbreak* foi calculado a partir da diminuição da berma projetada em relação a executada, conforme a tabela 4.

Tabela 4 - *Overbreak*.

Larg. Berma Pro	Larg. Berma Exec.	<i>Overbreak</i>
12,89	9,28	3,61
13,19	9,41	3,78
13,17	9,38	3,79
13,10	9,32	3,79
13,04	9,25	3,79
12,98	9,18	3,80
12,92	9,12	3,80
12,86	9,05	3,80

Fonte: Autor (2022)

Este processo foi realizado para cada polígono. Para obter as informações gerais foi gerado um banco de dados com todos os polígonos avaliados. As composições dos gráficos e tabelas foram feitas com as informações filtradas de acordo com as investigações.

3.2.7 Histogramas e tabelas

Os dados serão apresentados através de gráficos no formato de histogramas e tabelas com valores máximos, médios e mínimos dos *overbreak* obtidos pelo uso do excel. Para fazer o histograma foram usadas as ferramentas do excel, usando a opção de análise de dados e consequentemente gerando os gráficos com as informações de *overbreak*.

As medidas de bermas adotadas para os gráficos foram 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 metros e valores superiores (como mostrado na Tabela 5). Cada avaliação foi feita com as informações das setorizações e a litologia.

Tabela 5 - Largura de berma efetiva setor I-I.

Largura (m)	Frequência	%cumulativo
0	0	0,0%
2	30	1,5%
4	115	5,7%
6	285	14,2%
8	397	19,8%
10	591	29,4%
12	283	14,1%
Mais	307	15,3%

Fonte: Autor (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Elementos da avaliação

A partir dos dados tabulados, gerou-se a tabela de dados gerais com as 13.564 seções contidas nos setores I, II, III e IV, em 60 polígonos, sendo 50 bermas e 10 rampas. Para analisar de forma mais precisa, os setores que se encontram em duas regiões foram examinados separadamente, classificados como:

- Setor I: I e II;
- Setor II: I e II;

4.2 Avaliação de *overbreak* por setorização

Inicialmente, as informações das rampas foram ocultadas dessa etapa da avaliação, devido a largura das rampas serem superiores às bermas, afetando assim, o estudo das medidas.

O setor I tem como geometria o banco duplo com 30 m de altura, largura de berma de 16m e a angulação da face de 65°. Os dados examinados da região do setor I-I foram avaliados agrupando todas as bermas com o total de 2008 seções.

Na tabela 6, observa-se que no setor I-I houve *overbreak* com a média de 4,47m, também apresentou-se outra anomalia na berma, *underbreak* de -5,36.

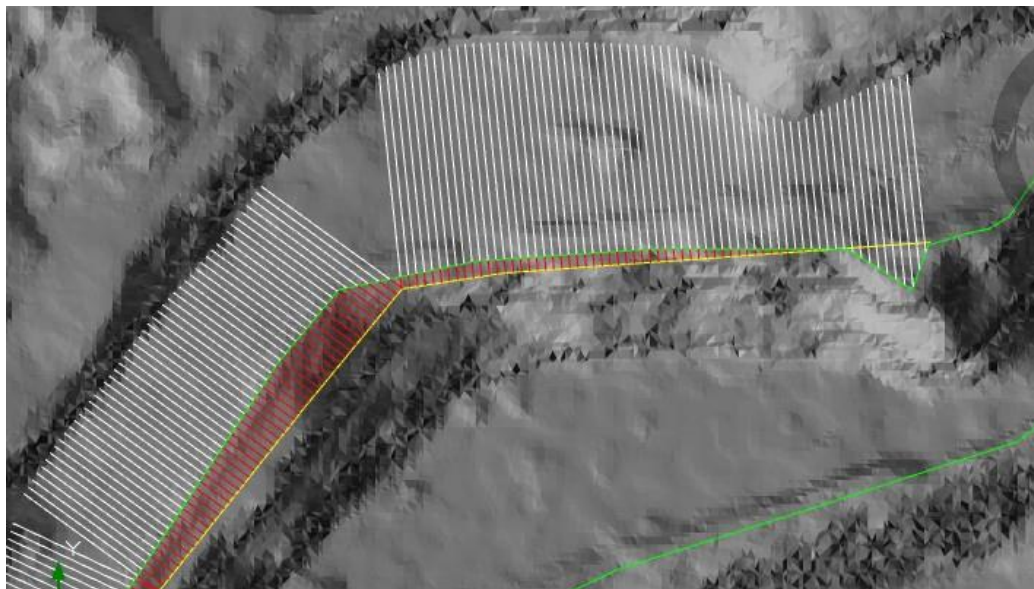
Tabela 6 - Medidas das seções no Setor I-I.

Dimensões	Larg. de Berma Projetada (m)	Larg. de Berma Executada (m)	<i>Overbreak</i> (m)
Mínima	3,1	0,71	-5,36
Média	13,35	8,8	4,47
Máxima	28,74	26,95	9,95

Fonte: Autor (2022)

O polígono que pontuou a aparição do *underbreak* é o P3_187_016 como pode ser visto na Figura 18, fica localizado ao noroeste do setor I-I e faz interseção com o setor IV.

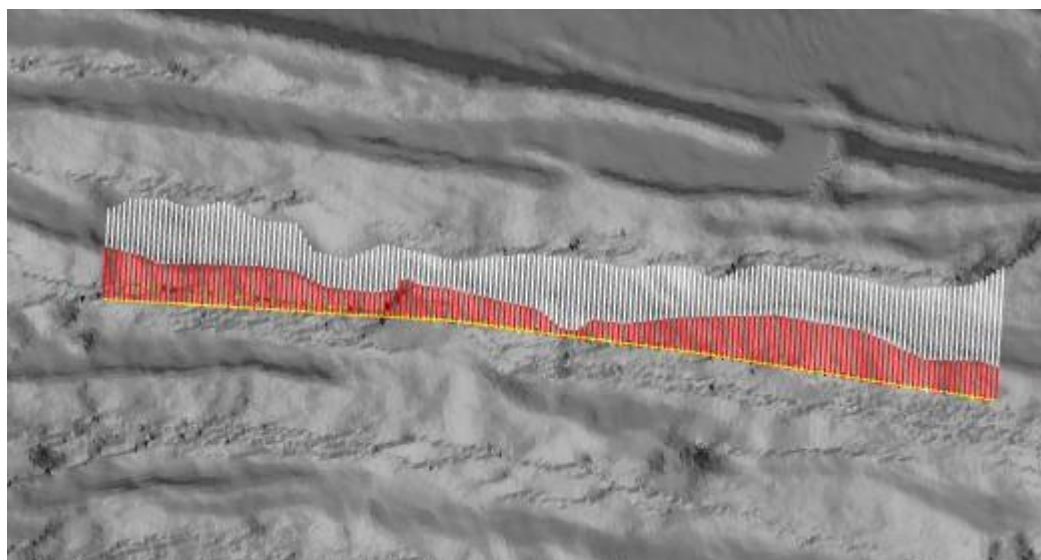
Figura 18 - P3_187_016.



Fonte: Autor (2022)

Neste setor o overbreak foi mais relevante no L2_187_027, com 9,95 m de rocha removida além do necessário. Na Figura 19 é possível notar a extensão da área, as deformações estão presentes do início ao fim do polígono.

Figura 19 - L2_187_027.



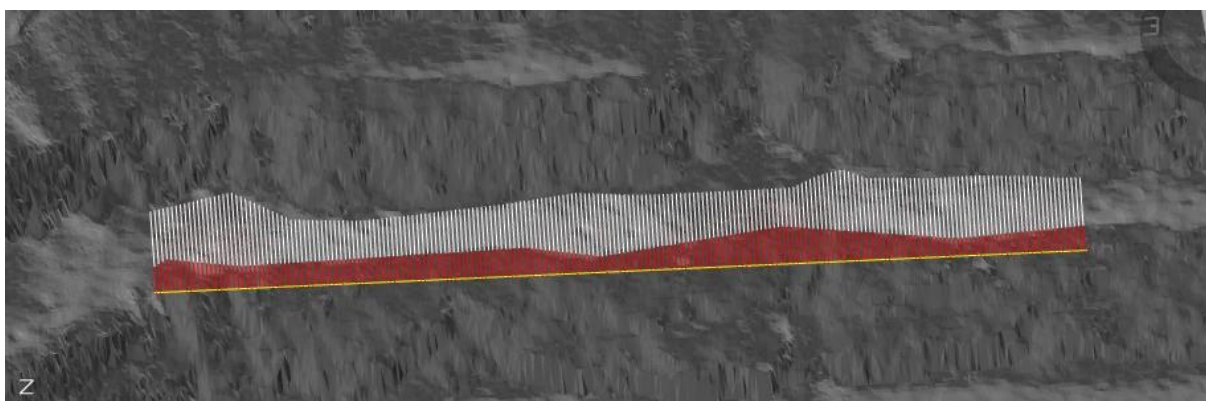
Fonte: Autor, 2022

No segundo fragmento do setor I (I-II) foram geradas 1330 seções. A Tabela 7 mostra que houve uma pequena evidência de *underbreak*, um valor inferior a 0,5 m. No P4_217_004 foram criadas 214 seções e a zona apresentou a maior medida de *overbreak* com 11,78 m conforme a Figura 20.

Tabela 7 - Medidas das seções no setor I-II.

Dimensões	Larg. de Berma Projetada (m)	Larg. de Berma Executada (m)	Overbreak (m)
Mínima	3,94	3,05	-0,32
Média	15,24	10,23	4,91
Máxima	24,36	20,41	11,78

Fonte: Autor (2022)

Figura 20 - P4_217_004.

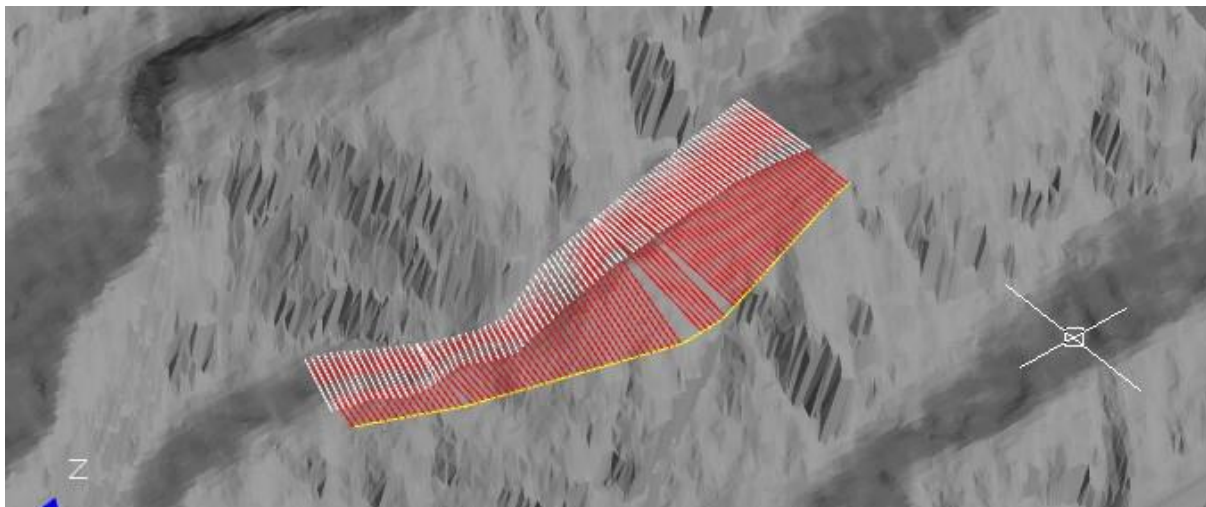
Fonte: Autor (2022)

O setor II possui a geometria da largura de berma de 11 m, altura do talude é banco duplo de 30 m e ângulo de face 75°. O setor II-I contabilizou um total de 1913 seções, notou-se que o *overbreak* manteve-se com as medidas semelhantes ao setor anterior, considerando a média de 4 m de área impactada. O P4_157_004 se encontra entre o setor II-I e o III, ao todo foram produzidas 94 seções e 52 estão presentes nesta região. O polígono (Figura 21) apresentou o maior índice de *overbreak* com 11,76 m, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Medidas das seções no Setor II-I.

Dimensões	Larg. de Berma Projetada (m)	Larg. de Berma Executada (m)	Overbreak (m)
Mínima	2,45	0,75	0,01
Média	13,43	9,07	4,36
Máxima	26,39	22,64	11,76

Fonte: Autor (2022)

Figura 21 - P4_157_004.

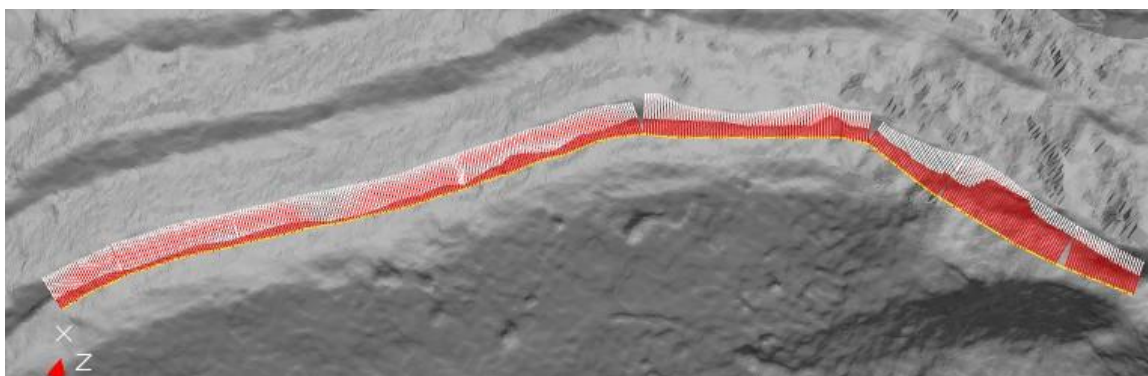
Fonte: Autor (2022)

Com 1694 seções, o setor II-II obteve um dos maiores valores de *overbreak* da cava. O P4_097_007 alcançou a medida máxima na seção com o dano na região de 17,18 m, como mostra a Tabela 9. Na Figura 22 é visível o impacto no final do polígono.

Tabela 9 - Medidas das seções no Setor II-II.

Dimensões	Larg. de Berma Projetada (m)	Larg. de Berma Executada (m)	Overbreak (m)
Mínima	6,92	0,28	0
Média	14,32	9,54	4,77
Máxima	36,43	31,63	17,18

Fonte: Autor (2022)

Figura 22 - P4_097_007.

Fonte: Autor (2022)

A geometria presente no setor III, conta com o ângulo de face de 65° , banco duplo (30 m) e a berma de 16 m, foram computadas 1697 seções. Pode-se verificar a existência de *underbreak*, como mostrado na Tabela 10.

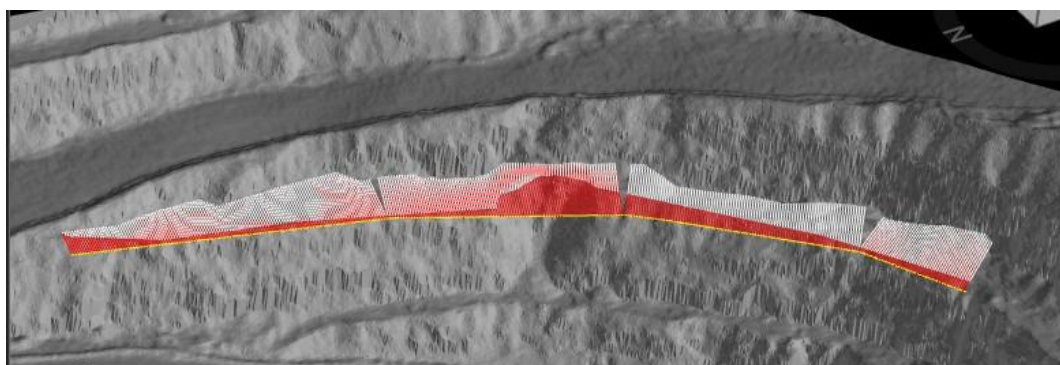
Tabela 10 - Medidas das Seções no Setor III.

Dimensões	Larg. de Berma Projetada (m)	Larg. de Berma Executada (m)	Overbreak (m)
Mínima	4,58	0,03	-4,55
Média	16,67	11,47	5,2
Máxima	32,65	27,33	22,69

Fonte: Autor (2022)

O *overbreak* máximo está presente na zona norte do setor com 22,69 m, o polígono situa-se entre o setor I-I e o II. A região possui uma cunha no centro da berma, como mostrado na Figura 23, tornando-se o principal motivo da medida de *overbreak* ser superior em relação aos outros polígonos.

Figura 23 - P4_217_003.



Fonte: Autor (2022)

A geometria do setor IV tem como disposição a berma de 8 m, ângulo de 65° e banco simples de 15 m. Apesar dos setores parecerem ter as dimensões semelhantes, o setor IV possui mais bancadas, com essa condição o local apresentou o maior número de seções (3.643). Porém, mesmo com o aumento da quantidade de dados examinados, os parâmetros do setor IV se igualam com os setores apresentados anteriormente, como mostrado na Tabela 11.

Tabela 11 - Medidas das Seções no Setor IV.

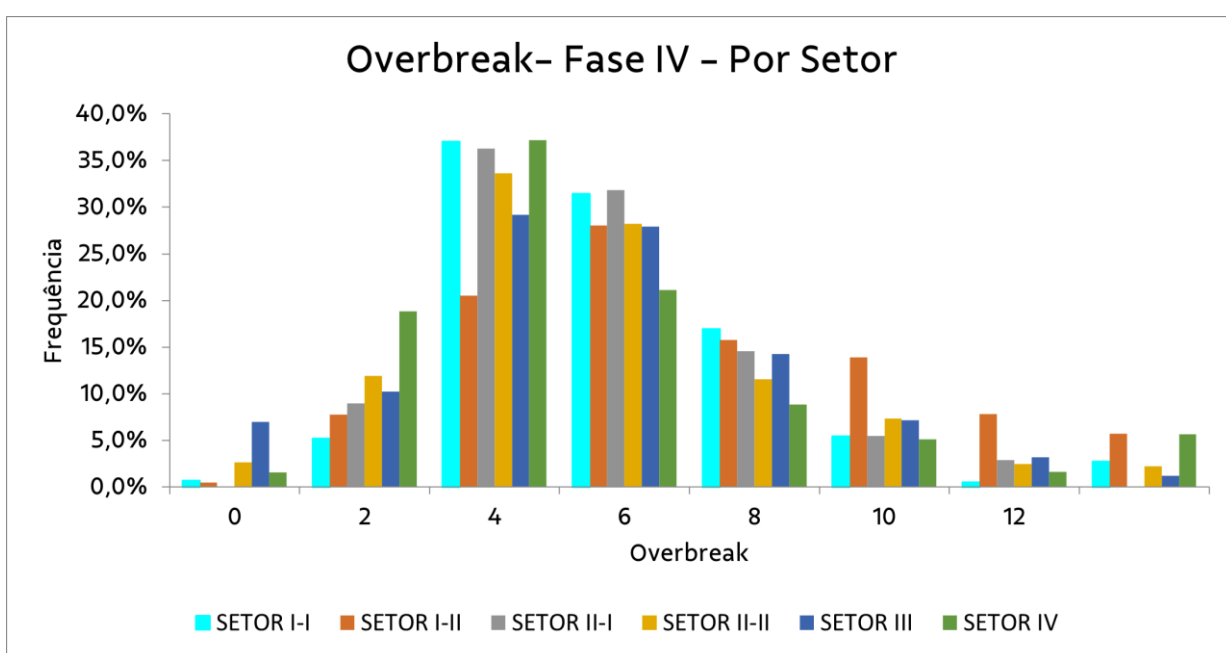
Dimensões	Larg. de Berma Projetada (m)	Larg. de Berma Executada (m)	Overbreak (m)
Mínima	2,42	0,11	-2,55

Média	11,74	7,88	3,86
Máxima	29,52	22,86	11,07

Fonte: Autor (2022)

Ao correlacionar os danos do *overbreak* em cada setor, pode-se observar através das dimensões, a mediana geral dos setores com o valor de 4 m de berma deformada, conforme a Figura 24. Nas medições observou-se, que é possível ordenar o polígono mais danificado por setorização, conforme a Tabela 12.

Figura 24 - Histograma de *overbreak* por setor.



Fonte: Autor (2022)

Nas medições observou-se, que é possível ordenar o polígono mais danificado por setorização, conforme a Tabela 12.

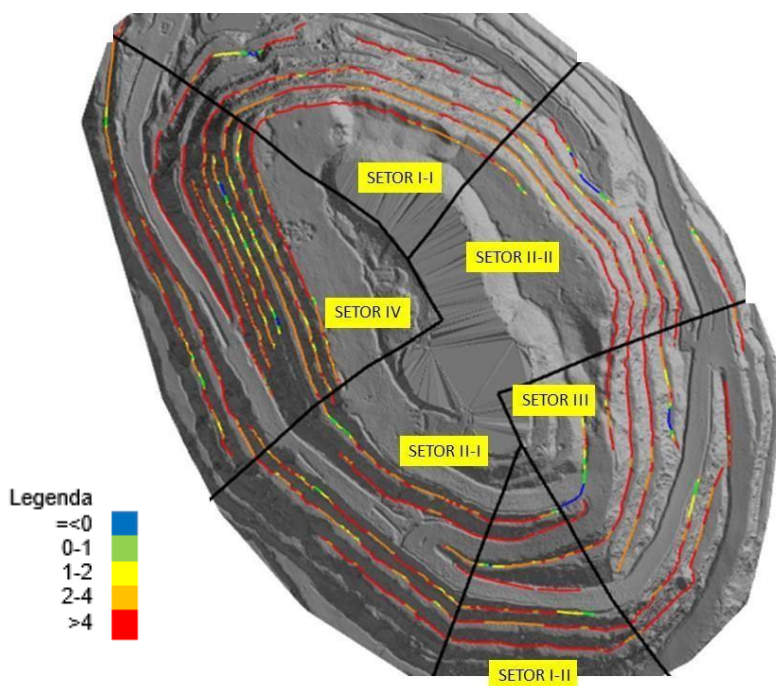
Tabela 12 - Setores mais impactados.

Ordem	Setor
1°	III
2°	II-II
3°	I-II
4°	II-I
5°	IV
6°	I-I

Fonte: Autor (2022)

A Figura 25 apresenta a classificação de cada zona com o levantamento de *overbreak*, os impactos foram distribuídos com valores menores que 0 até superior a 4 m. A tabela 12 apresentada anteriormente, pode ser comparada de forma visual.

Figura 25 - Overbreak por setor.

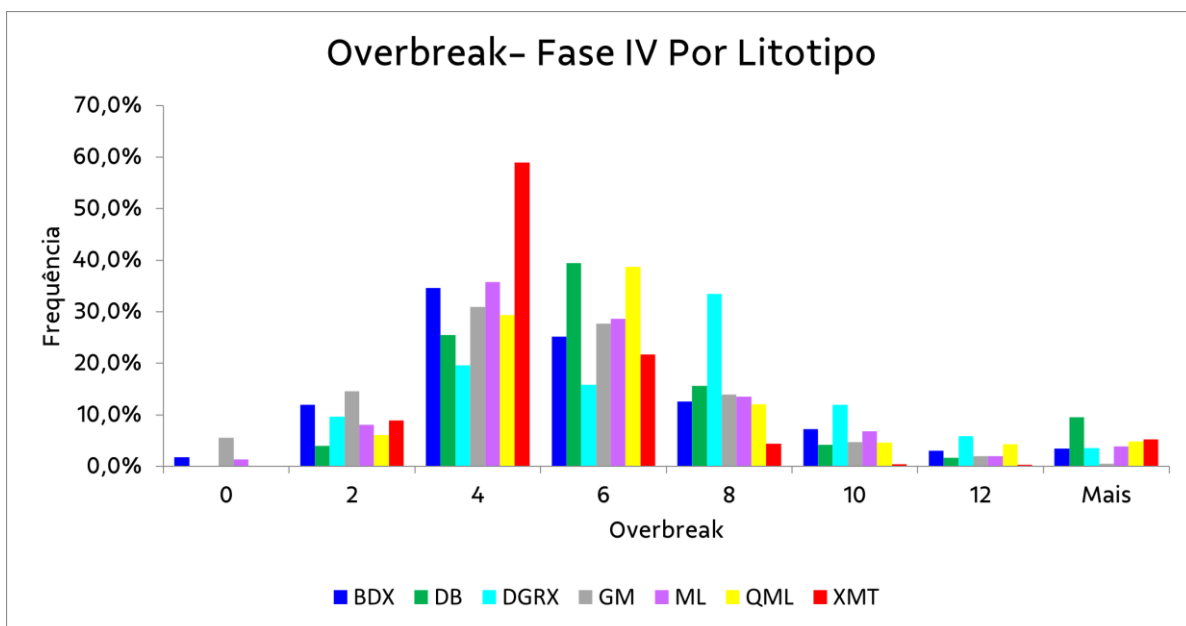


Fonte: Autor (2022)

4.3 Avaliação de *overbreak* por litologia

A litologia presente na área de estudo foi examinada com o intuito de observar se promove influência significativa das deformidades dos polígonos. Como cada litologia possui propriedades distintas, as análises ocorreram de forma similar à análise dos setores.

As seções foram distribuídas conforme a litologia presente. Vê-se na Figura 26 a disposição da frequência de *overbreak* atuando em cada largura de berma deformada. É válido ressaltar que a média do *overbreak* por setorização é projetada também na análise de *overbreak* por litologia.

Figura 26 - Histograma de *overbreak* por litologia.

Fonte: Autor (2022)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação e o mapeamento da cava da mina demonstraram-se uma atividade importante para o monitoramento e análise das bancadas. O *overbreak* esteve presente em praticamente todos os polígonos desmontados na avaliação, com a média de 4 m de berma danificada.

A geometria dos taludes definida pela setorização não condiz com os dados gerados, embora os setores tenham sido classificados por polígonos que mais sofreram impactos, todas as áreas apresentaram larguras de bermas inferiores ao planejado.

A análise litológica apresentou deformidade em todas as litologias da cava, com variações nas medidas de *overbreak*. Desta forma, não é válido indicar a litologia da cava como ponto principal para tal anomalia.

Com base nos resultados, pode-se observar que apesar do empenho da empresa em minimizar os danos causados pela detonação nas paredes dos taludes, o atual processo não está sendo efetivo.

A energia gerada pelos os explosivos nos furos dos polígonos de produção, estão atuando de forma direta na face do talude, apesar do uso de pré-cortes para diminuir o impacto. Portanto, para solucionar esse problema é necessário dar continuidade na pesquisa, realizando estudos em outros parâmetros, como carregamento, execução dos furos e o planejamento do plano de fogo.

REFERÊNCIAS

- ADONES, Roberto. **Curso de especialização em lavra de minas a céu aberto métodos de lavra a céu aberto**. 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Geociências. Belém - PA, 2012.
- ALMEIDA, Douglas Smith de et al. **Desmonte de Rocha com o Uso de Explosivos em Rodovias**. 2018.
- AMORIM, Diego Cunha. **Redução dos custos operacionais na lavra de Mica Xisto ao mudar os parâmetros do plano de fogo**. 2019.
- BASTOS, Flávia de Freitas. **Aplicação da Terrace Mining como alternativa para lavra de gipsita na região do Araripe–Pernambuco**. 2013. Dissertação de Mestrado. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.
- BRAGA, Nicolas Yuri. **Análise da fragmentação de gnaiss no desmonte com explosivos por métodos analíticos e uso de imagens**. 2018.
- BVP (2019). **Barragem de rejeitos de Mirim. Projeto executivo Salobo** El. 245 m. Revisão periódica de segurança de barragens. Relatório Técnico. RL-9002SA-X-70079. Revisão C.
- CARLI, Carla de. **Análise de projetos limite: Lavra a céu aberto X lavra subterrânea**. 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, 2013.
- CASTRO, J. F. M. Mapa Morfodinâmico: Uma Abordagem Metodológica de Uso de Sistema de Informação Geográfica. Revista Geociências, UNESP, Rio Claro, v. 17, p.161-185, 2003.
- CORDEIRO, Urias Eduardo Bistene. **Manutenção de Vias em Minas a Céu Aberto: e suas relações causais**. Editora Dialética, 2022.
- CURI, Adilson. **Lavra de minas**. Oficina de Textos, 2017.
- DE MORAIS, Carlos Antônio; DE ALBUQUERQUE, Rodrigo Oscar; LADEIRA, Ana Claudia Queiroz. **Processos Físicos e Químicos Utilizados na Indústria Mineral**. Cad Temáticos Química Nov na Esc, v. 8, p. 9-17, 2014.
- DORNELES, Felipe T. **Controle e Previsão de Vibrações e Ruídos gerados por Desmonte de Rochas com Explosivos**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Pampa, Tecnologia em Mineração, v. 96, 2013.
- EVANS, Christopher Lyle. **The design of catch bench geometry in surface mines to control rockfall**. The University of Arizona, 1989.
- FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. **Mineração e meio ambiente no Brasil**. Relatório do CGEE/PNUD, v. 76, p. 2, 2002.

FERREIRA, S. B. **Estudo de ruptura em talude urbano no Morro do Curral, Ouro Preto**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2004. 87p. (Dissertação de Mestrado).

FRANÇA, Renato Magni. **Análise da eficiência da perfuração e desmonte na mina Tico-Tico**. 2021.

Franklin, J.; Ibarra, J.; Maerz, N. **Blast overbreak measurement by light sectioning**. International journal of mining and geological engineering (1989), v. 7, 232 – 331.

GERSCOVICH, Denise. **Estabilidade de Taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 166p.

GONÇALVES, Pedro Wagner; CARNEIRO, Celso Dal Ré. Magmas e rochas ígneas: o estudo do calor interno da Terra. **Revista USP**, n. 72, p. 62-73, 2007.

HOEK, E.; LONDE, P. **Surface workings in rock**. In: International Congress on Rock Mechanics. 1974. p. 613-654.

HUSTRULID, W. **Blasting Principles For Open Pit Mining**. Rotterdam Brookfield: A. A. Balkema. 1999. 1 v.

IBANEZ, **Minério de cobre: Importância, tipos de depósitos e curiosidades**. Igeológico, 2022. Disponível em <<https://igeologico.com.br/minerio-de-cobre-importancia-tipos-de-depositos-e-curiosidades/>>. Acesso em 15, outubro de 2022.

KLICHE c. a. Slope Stability. In: DARLING p. **SME Mining Engineering Handbook**. Littleton, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2011 p. 495-525

KUROKAWA, Edson; BORNIA, Antonio Cezar. Utilizando o histograma como uma ferramenta estatística de análise da produção de água tratada de Goiânia. In: **XXVIII Congresso Interamericano De Ingeniería Sanitaria Y Ambiental**. 2002.

LEITE, Filipa Garrido. **Desenvolvimento de novos produtos explosivos para aplicações subterrâneas e de pré-corte, e redução de custos dos produtos existentes**. 2018. Tese de Doutorado.

MELENTIJEVIC, Svetlana. **Estabilidad de taludes en macizos rocosos con criterios de rotura no lineales y leyes de fluencia no asociada**. 2005. Tese de Doutorado. Caminos.

MESQUITA, Pedro Paulo Dias; CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de; OGANDO, Laura Duarte. **Desenvolvimento e inovação em mineração e metais**. 2016.

MORAIS, J. L. D. (2004). **Simulação da fragmentação dos desmontes de rochas por explosivos**. Tese de doutorado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

RAMÍREZ, Jorge Dueñas. **Mecanismos de Ruptura Bloco–Flexural em Maciços Rochosos: Caso do Talude Norte da Mina de Tintaya (Peru)**. 2006. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

RANCAN, C. C. et al. Rochas Ígneas do Bloco de Libra, Bacia de Santos. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. Rio de Janeiro, 2018. p. 2012.

RIFFEL, Eduardo Samuel; GUASSELLI, Laurindo Antonio; BRESSANI, Luiz Antonio. Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de literatura. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 2, p. 285-305, 2016.

SANTANA, Iasmin Vale; LIMA, Marcus Alexandre; COSTA, Leandro. **Tecnologias aplicadas ao desmonte de rochas**. 2019

SEN, G. C. **Blasting Technology- For Mining and Civil Engineers**. Sydney, Austrália: University of New South Wales Press LTD., pp.154 (1995)

SILVA, Andrêvhity Carlos Santos da. **Simulação e Análise da Fragmentação do Desmonte de Rochas na Pedreira Herval–BARREIROS–PE**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SOUZA, Rafael Toledo Fernandes de et al. Estudo sobre quantificação e classificação dos tecidos biológicos em imagens tomográficas a partir de histogramas. **Revista Brasileira de Física Médica**, p. 19-22, 2010.

STEFANI, Pedro Henrique. **Carga explosiva: desmonte de rochas a céu aberto**. Engenharia Civil-Pedra Branca, 2019.

TEIXEIRA, José Luís dos Santos. **Qualidade da fragmentação no desmonte de rocha: análise preliminar**. 2010. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

TUCKER, Maurice E. **Rochas Sedimentares-4**. Bookman Editora, 2014.

VALADÃO, G.E.S.; ARAUJO, A.C. **Introdução ao tratamento de minérios**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2007. 234 p

VERMA, Harsh K.; GOEL, R. K.; PRASAD, V. V. R. Assessment and Mitigation of Blast Induced Vibration and Overbreak in Kol Dam Hydroelectric Power Project, India–A Case Study. *Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology*, v. 19, n. 1, p. 47-59, 2013.

WHYATT, J.; MACLAUGHLIN, M.; MILLER, S. **Analysis of bench crest performance at the Yellowstone Mine: A case study**. 2004.

WYLLIE, D. C. & MAH, C. W. **Rock slope engineering civil and mining**. 4ª edição. 2004.

ZDAZINSKY, C. **Effect of electronic detonators in underground tunneling application**. *The Journal of Explosives Engineering*, v.32, p.28-35, 2015.