



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS - DEMIN**



**THIAGO CARDOSO LOPES**

**ANÁLISE DOS GANHOS EM FRAGMENTAÇÃO PELO USO DE MATERIAL  
GRANULAR COMO MATERIAL DE TAMPÃO EM UMA MINA DE FERRO  
DO QUADRILÁTERO FERRIFERO**

**OURO PRETO – MG**  
**2023**

THIAGO CARDOSO LOPES

ANÁLISE DOS GANHOS EM FRAGMENTAÇÃO PELO USO DE  
MATERIAL GRANULAR COMO MATERIAL DE TAMPÃO EM UMA MINA DE  
FERRO DO QUADRILÁTERO FERRIFERO

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz

OURO PRETO – MG  
2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L864a Lopes, Thiago Cardoso.

Análise dos ganhos em fragmentação pelo uso de material granular como material de tampão em uma mina de ferro do Quadrilátero Ferrífero. [manuscrito] / Thiago Cardoso Lopes. - 2023.  
58 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Desmonte de rochas. 2. Explosivos. 3. Minas e mineração - Lavra de minas - Fragmentação. I. Ortiz, Carlos Enrique Arroyo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.235

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Thiago Cardoso Lopes**

**Análise dos Ganhos em Fragmentação pelo uso de material granular como material de tampão em uma Mina de Ferro do Quadrilátero Ferrífero**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 06 de setembro de 2023

### Membros da banca

Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz - Orientador(a) Universidade Federal de Ouro Preto  
Eng<sup>o</sup> Rodrigo Hermes de Aquino - SAMARCO  
Eng<sup>o</sup>. Patrick Presley da Silva Santana - SAMARCO

Carlos Enrique Arroyo Ortiz, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 25/09/2023



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Enrique Arroyo Ortiz, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/09/2023, às 10:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0594764** e o código CRC **9268ABE0**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiro a Deus por toda a força, saúde e sabedoria para escrever esse trabalho e viver meus 5 anos de graduação.

Agradeço a minha família em especial meus pais Dirceu Lopes e Cristiana Da Cunha Cardoso e minha irmãzinha Alyne por todo o suporte durante meus anos de graduação.

Agradeço minha namorada e amigos pelo companheirismo, paciência e boa companhia durante esses 5 anos de muita luta.

Agradeço a UFOP, mas especificamente ao DEMIN e o seu corpo docente, mas agradeço de forma especial o meu orientador Carlos Enrique Arroyo Ortiz pela orientação e suporte na escrita desse trabalho, sem ele essa monografia não teria sido escrita.

Agradeço a Samarco, especialmente o pessoal da operação de mina pelos dois anos de aprendizado e por permitir realizar os testes presentes nesse trabalho na sua mina.

Por fim, agradeço a todos que de alguma maneira contribuiu ou torceu pelo meu sucesso nesses 5 anos de graduação, agradeço a todos vocês, obrigado

## RESUMO

O desmonte de rochas por explosivos é uma das etapas mais importantes do ciclo da lavra na mineração, é nessa etapa que o material é desagregado e sofre uma primeira redução no seu tamanho, como também é essa etapa que permite um carregamento eficiente do seu material sem ter aumento dos custos de produção e manutenção. Como a etapa de desmonte por explosivos é de extrema importância para o processo mineiro ela sofre diversos estudos que tem como objetivo aumentar sua eficiência, mas sem aumentar seus custos. Esse trabalho tem como objetivo analisar ganhos quantitativos na redução da fragmentação causados pela substituição do pó gerado na perfuração dos furos, para desmonte por brita zero como material para construção do tampão de furos de produção em uma empresa de mineração localizada no quadrilátero ferrífero.

**Palavras-chave:** Desmonte por explosivos, Ganhos na fragmentação e Tampão.

## **A B S T R A C T**

The blasting of rocks by explosives is one of the most important stages of the mining cycle in mining, it is in this stage that the material is disaggregated and suffers a first reduction in its size, as it is also this stage that allows an efficient loading of its material without increased production and maintenance costs. As the blasting step using explosives is extremely important for the mining process, it undergoes several studies that aim to increase its efficiency, but without increasing its costs. This work aims to analyze quantitative gains in the reduction of fragmentation caused by the replacement of the drill cuttings for crushed aggregate in the stemming of production holes in a mining company located in the Iron Quadrangle.

**Keywords:** blasting of rocks by explosives, gains in fragmentation and stemming.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de operações de uma mina a céu aberto. ....	16
Figura 2: Bit usado nos métodos martelo de superfície e martelo de fundo. ....	17
Figura 3: Broca Tricônica. ....	17
Figura 4: Representação de um furo de desmorte. ....	21
Figura 5: Elementos geométricos do plano de fogo. ....	22
Figura 6: Pacote de ANFO. ....	24
Figura 7: Amostra de emulsão. ....	25
Figura 8: Blendado 70% de emulsão e 30% de ANFO. ....	25
Figura 9: Blaster retirando foto do material desmontado para realizar análise granulométrica estática. ....	26
Figura 10: Ilustração de como é feita a análise granulométrica dinâmica ....	27
Figura 11: Fluxograma da metodologia adotada. ....	28
Figura 12: Análise granulométrica do pó gerado na perfuração. ....	29
Figura 13: Brita 0. ....	30
Figura 14: Pó gerado na perfuração. ....	30
Figura 15: Imagem usada para fazer a análise granulométrica estática. ....	32
Figura 16: Imagem usada para fazer a análise granulométrica estática. ....	32
Figura 17: Dados do desmorte da frente 12. ....	34
Figura 18: Amarração do desmorte frente 12. ....	34
Figura 19: Dados do desmorte da frente 16 A. ....	35
Figura 20: Amarração do desmorte frente 16A. ....	36
Figura 21: Dados do desmorte da frente 16 B. ....	37
Figura 22: Amarração do desmorte frente 16 B. ....	37
Figura 23: Dados do desmorte da frente 11. ....	38
Figura 24: Amarração do desmorte frente 11. ....	39
Figura 25: Dados do desmorte da frente 14 A. ....	40
Figura 26: Amarração do desmorte frente 14 A. ....	41
Figura 27: Dados do desmorte da frente 14 B. ....	42
Figura 28: Amarração do desmorte frente 14 B. ....	42
Figura 29: Análise granulométrica frente 12. ....	45
Figura 30: Análise granulométrica frente 12. ....	45
Figura 31: Análise granulométrica frente 12. ....	46
Figura 32: Análise granulométrica frente 16 A. ....	46
Figura 33: Análise granulométrica frente 16 A. ....	47

Figura 34: Análise granulométrica frente 16 A. ....	47
Figura 35: Análise granulométrica frente 16 B. ....	48
Figura 36: Análise granulométrica frente 16 B. ....	48
Figura 37: Análise granulométrica frente 16 B. ....	49
Figura 38: Análise granulométrica frente 16 B. ....	49
Figura 39: Análise granulométrica frente 11. ....	50
Figura 40: Análise granulométrica frente 11. ....	50
Figura 41: Análise granulométrica frente 11. ....	51
Figura 42: Análise granulométrica frente 11. ....	51
Figura 43: Análise granulométrica frente 14 A. ....	52
Figura 44: Análise granulométrica frente 14 A. ....	52
Figura 45: Análise granulométrica frente 14 A. ....	53
Figura 46: Análise granulométrica frente 14 A. ....	53
Figura 47: Análise granulométrica frente 14 A. ....	54
Figura 48: Análise granulométrica frente 14 B. ....	54
Figura 49: Análise granulométrica frente 14 B. ....	55
Figura 50: Análise granulométrica frente 14 B. ....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados Encontrados.....	22
Tabela 2: Dados desmontes em frentes diferentes.....	43
Tabela 3: Dados desmontes na mesma frente.....	44

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	Formulação Do Problema .....	12
1.2	Justificativa .....	13
1.3	Objetivo .....	13
1.3.1	Objetivo Geral .....	13
1.3.2	Objetivos específicos .....	13
1.4	Estrutura do Trabalho .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1	Etapas da Mineração .....	15
2.1.1	Perfuração .....	16
2.2	Geometrias .....	18
2.3	Afastamento .....	18
2.4	Espaçamento .....	19
2.5	Diâmetro do furo.....	19
2.6	Profundidade do Furo .....	20
2.7	Tampão.....	20
2.7.1	Escolha do material do tampão .....	21
2.8	Expansão dos gases.....	23
2.9	Explosivos.....	23
2.9.1	ANFO .....	23
2.9.2	Emulsão .....	24
2.10	Blendado ou ANFO Pesado .....	25
2.11	Análise Granulométrica .....	26
2.11.1	Análise Granulométrica Estática .....	26
2.11.2	Análise Granulométrica Dinâmica .....	27
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
3.1	Localização Da Mina .....	29
3.2	Tamanho Da Brita 0 .....	29
3.3	Tamponamento.....	30
3.4	Frentes Escolhidas .....	30
3.4.1	Frentes Distintas .....	31
3.4.2	Frentes Iguais.....	31
3.5	Análise Granulométrica .....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÕES.....</b>	<b>33</b>
4.1	Plano de fogo .....	33
4.2	Planos De Fogo Das Frentes.....	33
4.2.1	Plano de fogo frente 12.....	33
4.2.2	Plano de fogo frente 16 A .....	35

4.2.3	Plano de fogo frente 16 B .....	36
4.2.4	Plano de fogo frente 11 .....	37
4.2.5	Plano de fogo frente 14 A .....	39
4.2.6	Plano de fogo frente 14 B .....	41
4.3	Análise dos resultados .....	43
4.3.1	Desmonte em frentes distintas .....	43
4.3.2	Desmonte em frentes iguais .....	44
4.4	Análises granulométricas .....	44
4.4.1	Frente 12 .....	44
4.4.2	Frente 16 A .....	46
4.4.3	Frente 16 B .....	47
4.4.4	Frente 11 .....	49
4.4.5	Frente 14 A .....	51
4.4.6	Frente 14 B .....	54
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>58</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Formulação Do Problema**

O tampão é a parte superior dos furos de produção no desmonte de rochas, nessa porção do furo não é carregado com explosivos e sim é preenchido com material inerte.

O tampão tem o intuito de confinar os gases gerados na detonação. Na mineração se usa diversos materiais para construção do tampão, normalmente os detritos da perfuração é o material mais utilizado, entretanto, o uso de matérias granulares seria o ideal para cumprir seu objetivo, normalmente é utilizada a brita para se tamponar os furos, já que esse material causa um intertravamento dos gases por causa das suas características granulares.

Na empresa no qual foram feitos os testes, o material que compunha o tampão em furos de desmonte de produção, era o pó que gerado na perfuração, usa-se esse material porque facilitava o processo de tamponamento pelos auxiliares de carregamento de explosivos, por ser um material abundante na frente de carregamento e ser um material gratuito, o que favorecia a sua escolha, entretanto, esse material não era o adequado para compor o tampão de furos de desmonte, já que é um material muito fino e que não propicia uma boa retenção dos gases gerados pelos explosivos, gerando uma fragmentação não adequada.

Hoje a tendência mundial é que os processos produtivos mineiros sejam mais sustentáveis, com emissão zero de poluentes e uma grande eficiência, assim todas as etapas produtivas de uma empresa de mineração devem sempre visar eficiência e respeito ao meio ambiente. O desmonte de rochas por explosivos também deve seguir essa tendência com melhorias visando melhorar seu rendimento e reduzir o consumo de explosivos, contribuindo com as causas ambientais.

Na mineração de ferro o processo de concentração é feito em sua maioria por flotação, processo no qual um mineral hidrofóbico é separado de um mineral não hidrofóbico por meio de bolhas de ar induzidas na polpa em um tanque cujo nome é célula de flotação, com o mineral hidrofóbico sendo carregado pelas bolhas de ar, ocorrendo a separação dos minerais, essa hidrofobicidade pode ser natural como a existente no carvão ou induzida como ocorre com a maioria dos minerais minério. Para uma flotação eficiente é necessário que grãos minerais das rochas estejam com uma granulometria correta, sendo

necessário cominuir a rocha por meio da britagem, moagem e desmonte de rochas, com o desmonte funcionando como o primeiro estágio de fragmentação (FIGUEIRA; LUZ; ALMEIDA, 2010)

## **1.2 Justificativa**

O desmonte de rochas por explosivos representa cerca de 32 % dos custos operacionais da lavra a céu aberto (TRUEMAN, 2001), assim o desmonte de rochas por explosivos representa uma fatia considerável dos custos de produção da lavra. Portanto, um aumento da eficiência dessa etapa que permita uma redução dos custos do desmonte de rochas por explosivo, por menor que seja essa redução de custos, representaria uma economia considerável para a empresa, permitindo uma rentabilidade maior do empreendimento.

A substituição do pó gerado na perfuração por brita na construção do tampão de furos de desmonte para produção, visa a redução dos custos do desmonte de rochas por meio da melhoria da fragmentação e projeção do material, permitindo que os responsáveis pelo desmonte aumentem o afastamento e espaçamento, reduzindo o consumo de explosivos e por consequência os custos de detonação.

## **1.3 Objetivo**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Avaliar os ganhos, em termos de fragmentação e deslocamento das frentes de produção desmontados numa mina de ferro localizada no Quadrilátero ferrífero, ao utilizar como material na construção do tampão brita e detritos da perfuração.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Escolher o tamanho adequado de brita para usar no tampão
- Substituir o pó gerado pela perfuração pelo agregado chamado de brita 0 na construção do tampão de furos de produção
- Determinar melhorias no confinamento dos gases dos explosivos
- Medição da fragmentação do desmonte

#### **1.4 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho será dividido na seguinte forma, na introdução se tem um resumo do trabalho, citando o problema que será tratado no trabalho, justificativa do porquê foi feito esse trabalho, objetivos e metodologia. Na revisão bibliográfica foi feita uma contextualização do tema desmonte de rochas e as principais variáveis relacionadas com esse tema. Na metodologia foi demonstrado a linha de trabalho que foi adotada para realizar o trabalho, sendo explicado o que foi realizado em cada etapa dos testes e os tipos de análises feitas. No tópico resultados e discussões, foram feitos comentários sobre os resultados encontrados e todos os dados que foram obtidos. Por fim, no tópico conclusão, concluiu o trabalho mostrando se o uso de brita foi efetivo ou não é as conclusões finais do autor.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Etapas da Mineração**

O desmonte de rochas é uma das etapas mais importantes da lavra a céu aberto, por permitir um carregamento efetivo e sem maiores desgastes dos equipamentos de carga. Segundo Curi (2017) as principais etapas do ciclo de operações mineiras de uma lavra a céu aberto por caminhões é: perfuração, desmonte, carregamento e transporte.

A perfuração é a primeira etapa da maioria das operações de lavra a céu aberto no mundo, essa etapa consiste na preparação do maciço segundo o plano de fogo projetado, com o objetivo de fazer furos para condicionar os explosivos no seu interior (PINA, 2017). Essa etapa é importante porque uma perfuração inadequada acarretará num desmonte ineficiente, prejudicando todas as etapas subsequentes da operação.

O desmonte consiste na aplicação de explosivos nos furos feitos na etapa de perfuração e posteriormente é feita a sua deflagração com o intuito de fragmentar o maciço, essa etapa é feita em rochas com altas durezas ou caso tenha a necessidade de desagregar um grande montante de material.

Conforme Curi (2017) o carregamento consiste em encher a caçamba do seu equipamento de carga, como por exemplo, uma carregadeira ou encher a lâmina do trator. Segundo Quevedo (2009) o transporte consiste em levar o seu material já desagregado por meio do seu equipamento de transporte para um local predeterminado, como um britador caso for minério ou para a pilha de estéril caso seja estéril, na Figura 1 temos uma ilustração que mostra o ciclo de uma lavra por caminhão a céu aberto.



Figura 1: Ciclo de operações de uma mina a céu aberto.

Fonte:(SANTOS; CARVALHO E BRUM, 2021, p.4).

### 2.1.1 Perfuração

“É a primeira operação dentro das atividades a ser realizada no desmonte de rochas com explosivos, tem o objetivo de abrir furos, segundo uma geometria e distribuição apropriada na malha de perfuração. Após a perfuração os furos são carregados com explosivos e acessórios necessários para o desmonte” (ARROYO, 2020). Segundo Silva (2019) existem três principais métodos de perfuração: perfuração rotativa com brocas tricônicas, martelo de superfície e martelo de fundo. A perfuração se divide em dois princípios básicos: percussão e rotação, percussão é o mecanismo responsável por transferir energia ao bit, já a rotação permite que o bit produza impactos em diferentes posições da rocha. Um bom dimensionamento de perfuração é de suma importância, a escolha de um método de perfuração inadequado para a sua operação mineira pode ocasionar baixa produção e por consequência, prejuízos financeiros, o que nunca é desejado.

Martelo de superfície: Nesse método a percussão fornecida pelo martelo permanece fora do furo, com a rotação e percussão sendo transmitidas pelas hastes (ALONSO; GÓMEZ E HERBERT, 2013). Esse método normalmente é usado em rochas mais brandas, já que ocorre uma grande perda de energia entre cada haste, causando ineficiência no processo de furos mais profundos.

Martelo de fundo: O martelo que produz a percussão se localiza dentro do furo, fornecendo energia diretamente ao bit, reduzindo perdas de energias por causa da transferência da energia de percussão entre as hastes, na Figura 2 é mostrado como é um bit usado nos métodos de martelo de superfície e martelo de fundo.



Figura 2: Bit usado nos métodos martelo de superfície e martelo de fundo.

Fonte: (AUTOR, 2019).

Perfuração Rotativa Com Brocas Tricônicas: Segundo Silva (2019) nesse método não existe percussão e a perfuração é feita somente pela rotação e a alta pressão de avanço feita pela perfuratriz sobre a coluna de perfuração, ocorrendo a fragmentação da rocha por causa da broca tricônica, na Figura 3 pode-se ver como é um bit tricônico.



Figura 3: Broca Tricônica.

Fonte: (CATÁLOGO EPIROC, 2023).

## 2.2 Geometrias

As geometrias mais importantes no dimensionamento do plano de fogo em minas a céu aberto são: afastamento, espaçamento, diâmetro do furo, tampão e comprimento do furo, com cada parâmetro alterando o resultado do desmonte. O controle desses parâmetros é muito importância para a sua etapa de detonação, porque um mal dimensionamento de cada um desses fatores pode causar um desmonte ineficiente. Na Figura 5 é demonstrado os parâmetros geométricos do plano de fogo.

### 2.3 Afastamento

Afastamento nada mais é que a distância entre uma linha de furos e a face livre ou a distância entre duas linhas de furos diferentes (MORAIS, 2004). Essa variável tem um valor ótimo que deve ser adotado, onde esse se leva em consideração o diâmetro do seu furo, o explosivo usado e as características da sua rocha variando entre 33 e 39 vezes o diâmetro do furo (SILVA, 2019). O afastamento tem influência direta no resultado do desmonte, sendo necessário que o valor dessa variável fique bem próxima ao valor ideal teórico calculado conforme a resistência do seu maciço. Segundo Silva (2019) as seguintes fórmulas podem ser usadas para encontrar o afastamento teórico ideal conforme a resistência da sua rocha:

Para rochas acima de 120 MPa de resistência:

$$A = 0,00877 \times \left[ 2 \times \left( \frac{\rho_{\text{explosivo}}}{\rho_{\text{rocha}}} \right) + 1,5 \right] \times \rho_{\text{explosivo}} \quad (1)$$

Para rochas 70 a 120 MPa:

$$A = 0,00967 \times \left[ 2 \times \left( \frac{\rho_{\text{explosivo}}}{\rho_{\text{rocha}}} \right) + 1,5 \right] \times \rho_{\text{explosivo}} \quad (2)$$

Para rochas abaixo de 70 Mpa

$$A = 0,01053 \times \left[ 2 \times \left( \frac{\rho_{\text{explosivo}}}{\rho_{\text{rocha}}} \right) + 1,5 \right] \times \rho_{\text{explosivo}} \quad (3)$$

Onde:

- $A$  – Afastamento
- $\rho_{\text{explosivo}}$  – Densidade do explosivo

- $\rho_{rocha}$  – Densidade da rocha

Caso o afastamento seja muito menor que o valor ideal, o pulso de ar gerado pode ser muito grande e a fragmentação pode ser excessivamente fina, o que pode ser um problema caso esteja muito abaixo da média de tamanho esperada para o seu material, ocasionando problemas operacionais e ambientais, como a geração excessiva de poeira. Além disso, pode ocorrer um problema gravíssimo cujo nome é flyrock ou ultra lançamento, esse fenômeno já gerou fatalidades na mineração e deve ser evitado a todo custo.

Segundo Arroyo (2020). caso o afastamento for muito maior que o ideal as ondas e gases enfrentam dificuldade em fragmentar o maciço rochoso e parte da energia se transforma em energia sísmica, aumentando a vibração. Portanto, o afastamento deve ser o mais próximo possível do valor ideal já que caso o afastamento seja muito pequeno ou muito grande pode ocasionar danos ambientais, financeiros e principalmente um risco para a segurança de todos que trabalham e vivem em torno da área de desmontada.

## **2.4 Espaçamento**

Espaçamento é a distância entre dois furos de mesma linha (OLOFSSON, 1990). Segundo Silva (2019) um espaçamento muito pequeno pode ocasionar uma fragmentação excessiva entre os furos e pode gerar rape na base da bancada. Entretanto, caso o espaçamento for muito grande, poderá ocorrer uma fragmentação abaixo do ideal no maciço e a face remanescente será irregular, gerando problemas operacionais como matacão que o equipamento de carga terá que separar durante o processo de carregamento, gerando uma baixa eficiência operacional. Além disso, caso o número de matacão seja excessivamente grande será necessário fogos secundários para fragmentar esses grandes blocos, gerando gastos extras de detonação.

## **2.5 Diâmetro do furo**

Diâmetro do furo é largura do furo em polegadas feita pelo bit na rocha. Na empresa onde foi feito esse trabalho o diâmetro padrão de perfuração é 6  $\frac{3}{4}$  de polegadas que é o mesmo que 171 mm de diâmetro, com esse diâmetro sendo o padrão na empresa.

## 2.6 Profundidade do Furo

A profundidade total do furo que deve ser perfurada. Normalmente a profundidade do é o comprimento total do furo mais uma margem chamada de subperfuração. A subperfuração corresponde ao comprimento perfurado além do comprimento total da bancada (MORAIS, 2004). O objetivo principal é evitar o surgimento de rapé (vestígio de rocha que fica no pé da bancada desmontada) cujo surgimento pode ocasionar transtornos operacionais.

## 2.7 Tampão

Segundo Morais (2004) em um furo de detonação, a parte onde não é carregado com explosivo e sim com material inerte se chama tampão, essa parte do furo pode ser preenchida com areia, brita, pó gerado pelo processo de perfuração dentre outros e tem como objetivo confinar os gases gerados pela deflagração do explosivo, direcionando essa energia para o maciço rochoso. Para se encontrar o tamanho ideal do tampão de forma teórica pode-se usar a seguinte formula:  $Tampão = 0,7 * Afastamento$  (SILVA, 2019). Segundo Arroyo (2020) caso o tampão tiver o tamanho muito maior que o necessário pode-se formar blocos, aumento nas vibrações causadas pela detonação e baixo empolamento do material desmontada. Entretanto, caso o tampão tenha um tamanho menor que o ideal os gases escaparam de forma prematura, causando ondas aéreas, aumentando o risco de ultra lançamento de blocos e uma fragmentação ineficiente do maciço rochoso, na Figura 4 é exibido uma ilustração do parâmetro geométrico do tampão.

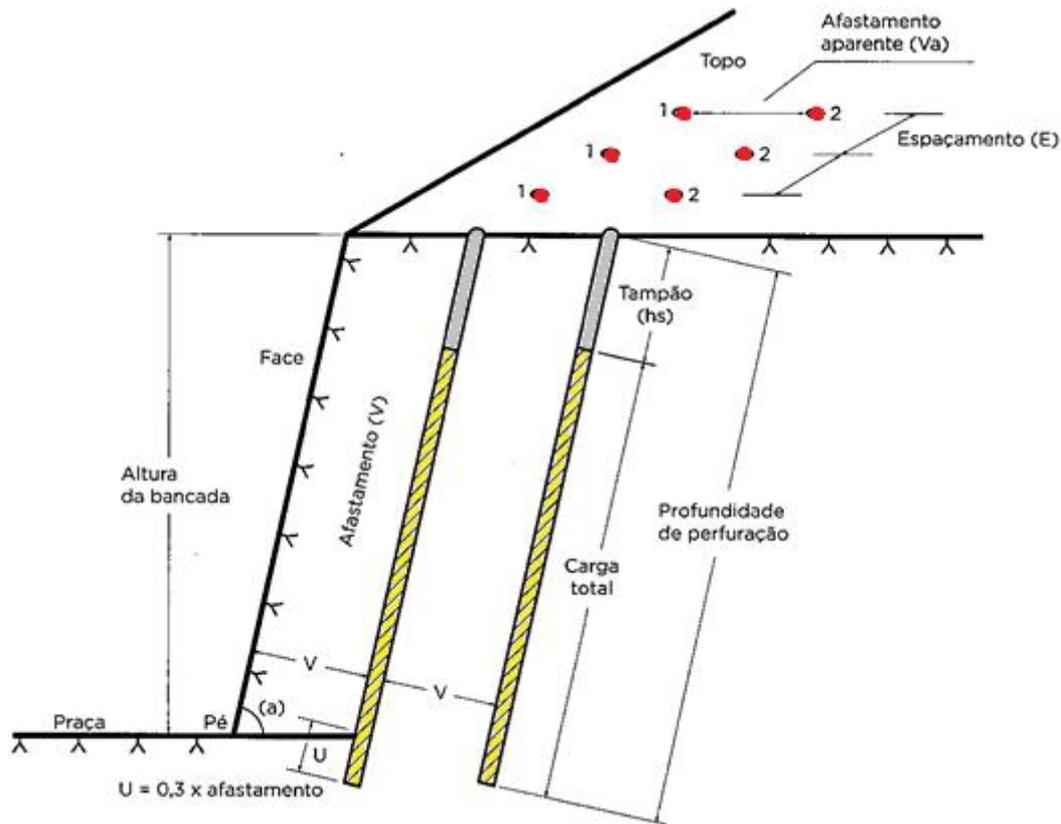


Figura 4: Representação de um furo de desmonte.

Fonte: (NIEBLE, 2017).

### 2.7.1 Escolha do material do tampão

Além do tampão precisar ter um tamanho ideal para que ocorra uma fragmentação adequada maciço rochoso é necessário que o material que forme o tampão tenha partículas com uma granulometria adequada para que os gases gerados pelo explosivo sejam retidos o maior tempo possível e conseqüentemente aumente a eficiência do desmonte, uma forma empírica de encontrar o tamanho ideal do material que deve compor o tampão é demonstrada por Silva(2019), onde se deve dividir o diâmetro do seu furo por 20, com essa fórmula é possível encontrar uma granulometria do material que deve compor o tampão. Além disso, existem diversos artigos que fazem a comparação entre diversos materiais para compor o tampão, um desses artigos é “Influência do Material do Tampão na Detonação” de Reddy; Tripathi e Parida (2020). O pó gerado na perfuração não é ideal para o tamponamento por ser muito fino, o que não permite uma boa retenção dos gases gerados na detonação, com esses autores realizando testes com três matérias diferentes: pó gerado na perfuração, brita e argila, com os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados Encontrados.

Dia	Material do tampão	Intensidade de vibração(mm/s)	Tamanho máximo (Cm)	Tamanho mínimo (Cm)	Quantidade de fragmentos de tamanho médio (%)
28/01/2020	Pó gerado na perfuração	25	60	5	70
29/01/2020	Brita	30	50	5	80
30/01/2020	Argila	20	30	4	90

Fonte: (REDDY, TRIPATHI e PARIDA, 2020).

Conforme mostrado acima, o melhor resultado foi obtido com o uso da argila, melhorando a fragmentação e reduzindo a vibração, entretanto, como a argila é um material de manuseio e aplicação complexo, torna a sua escolha inviável na maioria dos empreendimentos mineiros. Uma alternativa mais comum nas empresas e que pode trazer melhorias para o processo de desmonte é substituir o pó gerado na perfuração escolhido por um agregado da construção civil popularmente conhecido como brita. A brita como apresentado na Tabela 1 melhorou a fragmentação do maciço rochoso em comparação com o pó gerado na perfuração, mas com a ressalva de aumentar a vibração gerada pela detonação.

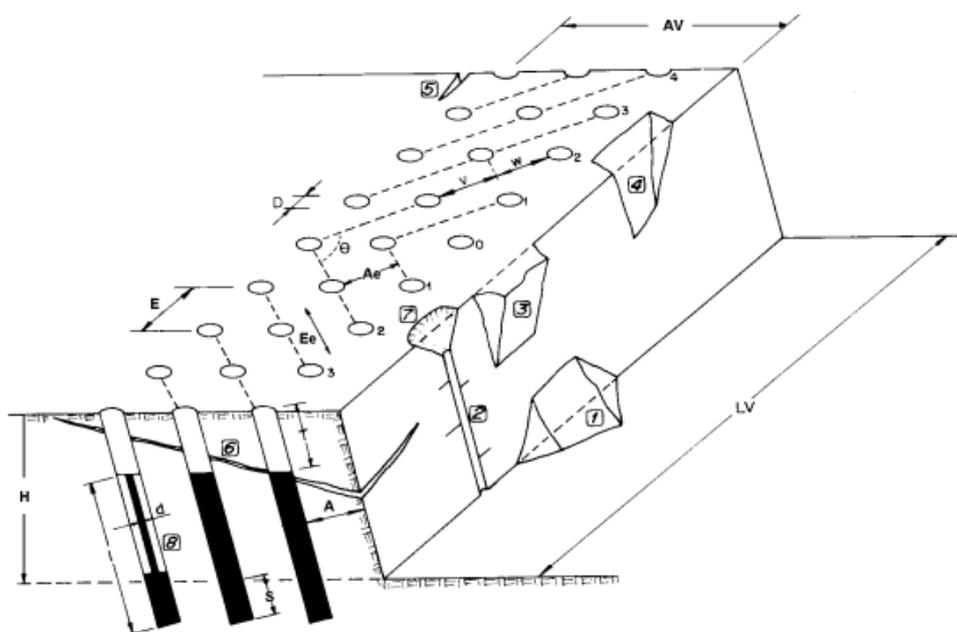


Figura 5: Elementos geométricos do plano de fogo.

H= Altura Da Bancada, D= Diâmetro Do Furo, E= Espaçamento, A= Afastamento, T= Tampão, S=Subperfuração e l= Rapé.

Fonte: (SILVA, 2019).

## 2.8 Expansão dos gases

Durante a detonação temos dois tipos de pressão geradas na detonação: pressão de detonação e pressão do furo. Segundo Morais (2004) pressão de detonação é a pressão da onda de detonação à medida que a coluna de explosivo é deflagrada, sendo esse tipo de pressão responsável pela geração de uma onda de choque na rocha que fica no entorno do explosivo, com essa variável sendo proporcional a velocidade de detonação e a densidade do explosivo.

Já a pressão do furo segundo Atlas Powder Company (1987) é a pressão gerada nas rochas ao entorno do explosivo causado pela expansão dos gases gerados pelo explosivo. Durante o processo de pressão do furo é de extrema importância reter o maior volume de gases, porque somente assim a detonação será mais efetiva, já que terá um melhor aproveitamento dos gases gerados pelo explosivo e segundo Silva (2019) os gases gerados na detonação se propagam ao longo das fissuras do maciço separando o maciço em fragmentos de rochas.

## 2.9 Explosivos

Segundo Silva (2019): Explosivo é uma substância ou misturas em qualquer estado físico que quando submetido ao calor, impactos ou atrito se deflagra transformando-se totalmente em gás, aumentando a pressão de forma muito rápida, como também ocorrendo a liberação de uma grande quantidade de calor.

### 2.9.1 ANFO

Segundo Alonso; Gómez e Herbert (2013) o ANFO ou Ammonium Nitrate e Fuel Oil é um explosivo criado a partir da junção entre nitrato de amônia e óleo diesel, com as porcentagens das misturas entre 90% e 95% de nitrato de amônia e entre 10% e 5% de óleo diesel. Esse explosivo é amplamente usado na indústria mineira, principalmente por causa da sua alta insensibilidade, ou seja, é um explosivo muito seguro por ser difícil de ser iniciado por choques mecânicos, por exemplo. Entretanto, segundo Silva (2019) esse explosivo apresenta algumas desvantagens, sendo a principal delas a baixa densidade ( $0,85 \text{ g/cm}^3$ ), fazendo o mesmo boiar em furos com água ( $1 \text{ g/cm}^3$ ) se tornando um risco para a segurança do desmonte. Esse explosivo pode ser comprado em forma ensacado ou

bombeado dependendo da operação e necessidade do cliente. Na Figura 6 temos uma foto de um pacote de ANFO.



Figura 6: Pacote de ANFO.

Fonte: (CATÁLOGO COMPEL EXPLOSIVOS, 2023).

## 2.9.2 Emulsão

“Emulsões são um sistema bifásico onde a fase interna ou dispersa, constituída por pequenas gotas de nitrato de amônio, se encontra dispersa numa fase exterior ou contínua, por intermédio da ação de agentes emulsionantes. A estabilidade da estrutura água/óleo depende da quantidade de ar contido ou das microesferas adicionadas para garantir a estabilidade adequada” (ARROYO,2020). A emulsão é um dos explosivos mais usados na mineração, esse explosivo tem VOD entre 4500-6000 m/s, esse valor é maior que o VOD do ANFO, cujo valor é entre 2200 e 4000 m/s, isso significa que a emulsão se deflagra mais rapidamente, representando uma maior eficiência. Além disso, as emulsões apresentam maior densidade em comparação com o ANFO, reduzindo os problemas ocasionados por furos que contém água, permitindo seu uso em regiões com altas taxas pluviométricas como o Brasil. Na Figura 7 temos uma imagem de amostra de emulsão retirada durante o processo de carregamento.



Figura 7: Amostra de emulsão.

Fonte: (AUTOR,2023).

## 2.10 Blendado ou ANFO Pesado

Segundo Moraes (2004) uma alternativa para a energia gerada pelo ANFO é adicionando diferentes porcentagens de emulsão ao ANFO, com essa mistura levando o nome de blendado ou ANFO pesado. Segundo Silva (2019) a constituição desse explosivo é entre 40 e 80 por cento de emulsão e o restante de ANFO. o objetivo dessa mistura é preencher os espaços vazios existentes no ANFO com emulsão, aumentando a densidade do explosivo e a sua energia absoluta, caso a porcentagem de emulsão for acima de 50% o explosivo adquire resistência a água (MORAIS, 2004). Na Figura 8 é mostrado como é a característica do blendado.



Figura 8: Blendado 70% de emulsão e 30% de ANFO.

Fonte: (AUTOR, 2019).

## 2.11 Análise Granulométrica

Segundo Lima e Luz (2001) análise granulométrica de partículas sólidas consiste em determinar os tamanhos das partículas que formam o material que deve ser classificado e a frequência que ocorre esses tamanhos ou classes. No desmonte de rochas, a análise granulométrica permite observar como é a fragmentação do seu material após o desmonte e permite a observação de possíveis melhorias no desmonte, segundo Cunha (2014) o modo ideal de encontrar a distribuição granulométrica do seu desmonte seria peneirando todo o material desmontado, entretanto isso é inviável por causa dos grandes volumes de material gerado. Segundo Silva (2019) existe dois tipos de análise granulométrica, dinâmica e estática.

### 2.11.1 Análise Granulométrica Estática

Segundo Moraes (2004) nesse tipo de análise é classificado granulometricamente o material desmontado por meio da identificação dos blocos individuais criando uma rede de contorno em volta desses blocos por um software específico, como o I-blast e posteriormente é obtido a curva granulométrica do seu material desmontado conforme esses blocos destacados pelo contorno. Esse método apresenta vantagens como baixo custo, praticidade e uma boa confiabilidade, mas segundo Pina (2017) a maior fonte de erro nesse tipo de análise é achar que as fotos retiradas da superfície da pilha apresentam todo o volume do material desmontado. Na Figura 9 temos um blaster tirando as fotos com o intuito de fazer uma análise granulométrica estática.



Figura 9: Blaster retirando foto do material desmontado para realizar análise granulométrica estática.

Fonte: (AUTOR,2019).

### 2.11.2 Análise Granulométrica Dinâmica

Segundo Silva (2019) nesse tipo de análise o material fragmentado é observado durante sua movimentação por meio de câmeras instaladas nos equipamentos de carga, transporte ou em britadores, sendo feitas diversas imagens do material fragmentado a todo momento. Posteriormente, essas imagens feitas são analisadas por softwares específicos como o fotoanálise 3D e assim é obtido a curva granulométrica desse material. Esse método é o ideal, já que representa melhor o material desmontado, podendo representar uma análise mais assertiva, entretanto, apresenta um custo maior que o método estático, o que pode inviabilizar a sua utilização.

Observa-se na Figura 10 o esquemático da análise granulométrica dinâmica.

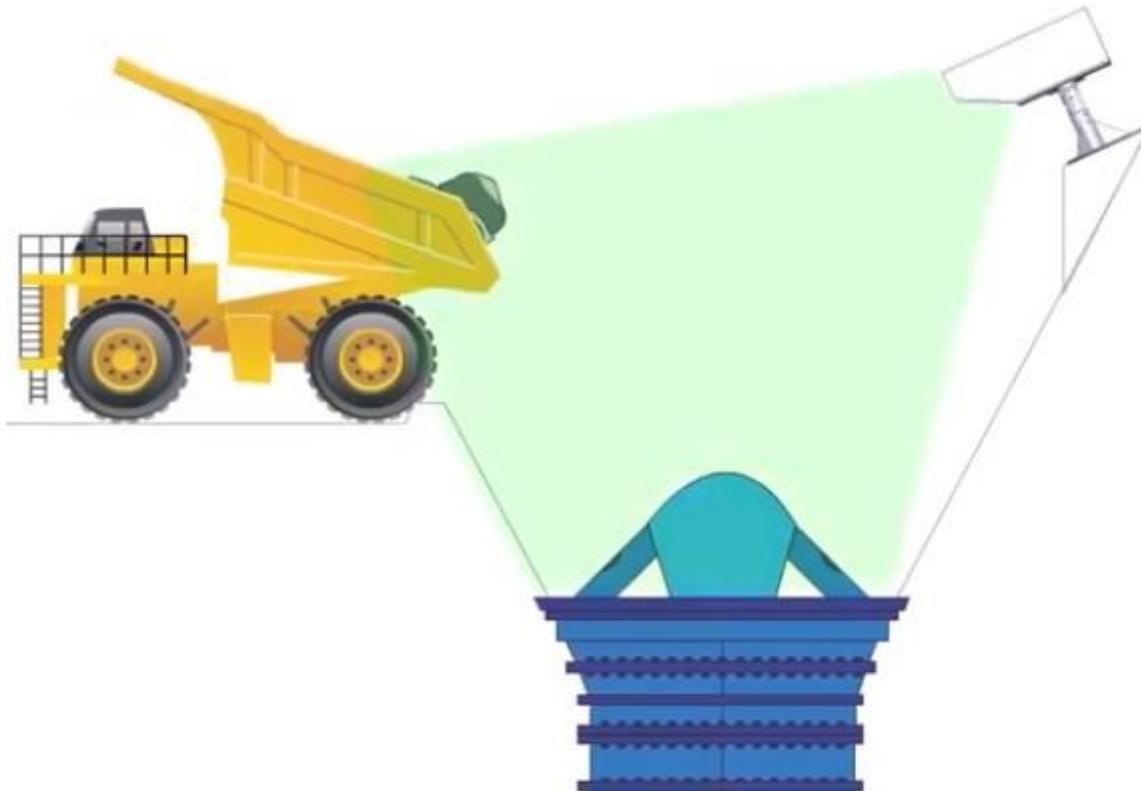


Figura 10: Ilustração de como é feita a análise granulométrica dinâmica .

Fonte:(CATALOGO DE PRODUTOS WIPFLAG, 2023).

### 3 METODOLOGIA

O desmonte de rochas é uma etapa cuja otimização é estudada por diversas empresas, já que um desmonte eficiente traz grandes benefícios para as etapas subsequentes ao desmonte. Durante um ano foram feitos vários desmontes no qual selecionamos dois deles para substituir o material normalmente usados no tampão por brita zero (4,8 a 9,5mm). Após isso, por meio foram feitas análises granulométricas do tipo estáticas para se obter a curva granulométrica da pilha onde se usou tampão com brita e onde foi usado o pó gerado na perfuração. Esse estudo teve o objetivo de observar possíveis ganhos qualitativos e quantitativos por meio dessa troca simples. O fluxograma da metodologia está demonstrado na Figura 11.

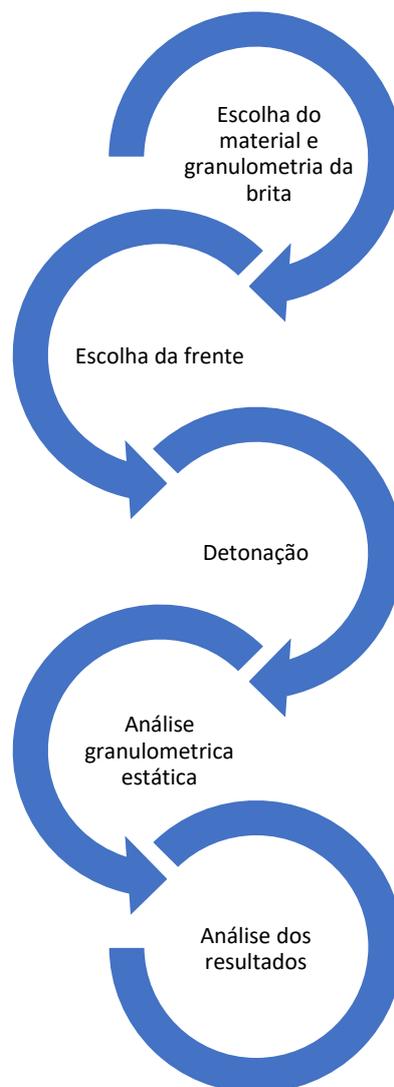


Figura 11: Fluxograma da metodologia adotada.

Fonte: (AUTOR, 2023).

### 3.1 Localização Da Mina

A mina onde foram realizados os testes se localiza no distrito de Antônio Pereira no estado de Minas Gerais no Brasil, com latitude -20.20449970 e longitude de -43.51414298 no quadrilátero ferrífero, uma importante província mineral do estado de Minas Gerais. Essa empresa produz minério de ferro usando caminhões e correias transportadoras moveis.

### 3.2 Tamanho Da Brita 0

Antes de se iniciar os testes foi necessário consultar diversas bibliografias para se decidir qual seria a granulometria adequada da brita. O tamanho dos agregados foi determinado conforme a fórmula  $OT=D/20$ (SILVA,2019), onde OT é igual tamanho ótimo do agregado e D é o diâmetro do seu furo, sendo encontrado um valor de 8,55 mm como o tamanho ideal para o material que deveria compor o tampão, como mostrado na Figura 12 o material gerado na perfuração tem granulometria bem menor que isso, girando em torno de 0,1 milímetros de espessura. Um agregado que tem um tamanho médio em torno de 8,55 mm é a brita zero, cujo tamanho é entre 4,8 e 9,5 mm de diâmetro médio. Observa-se na Figura 13 e Figura 14 a brita zero e o pó gerado na perfuração usados na confecção do tampão de furos de produção, respectivamente.

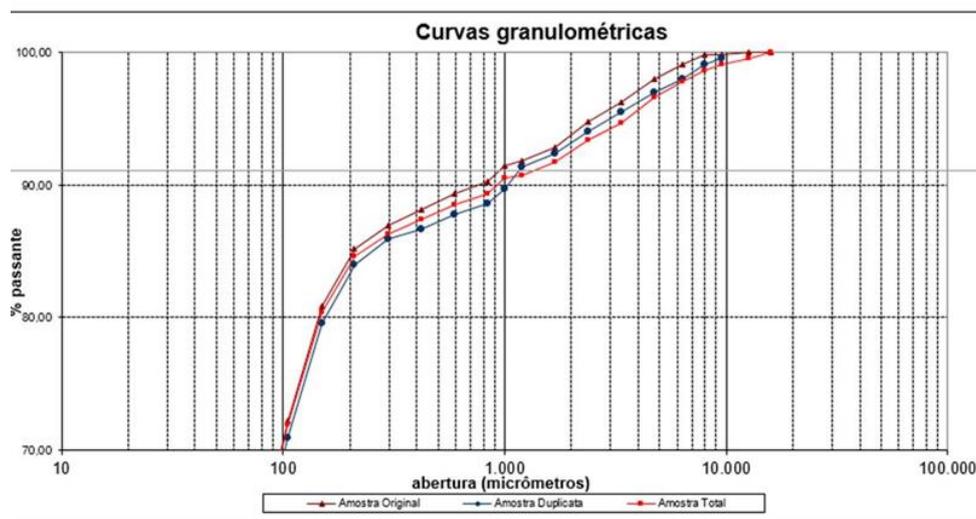


Figura 12 Análise granulométrica do pó gerado na perfuração.

Fonte (AUTOR,2023).



Figura 13: Brita 0.

Fonte:(AUTOR,2023).



Figura 14: Pó gerado na perfuração.

Fonte:(AUTOR, 2023).

### **3.3 Tamponamento**

Antes do processo de tamponamento no momento de carregamento do fogo, foi necessário distribuir a brita furo a furo para tamponar, isso ocorreu porque esse material chegava em um caminhão de uma empresa terceira que deixava esse material na praça que seria desmontada, sendo necessário distribuir esse material com um equipamento adequado no dia anterior ao desmonte para que o tamponamento ocorresse sem atrasos.

### **3.4 Frentes Escolhidas**

Os testes foram feitos nas frentes de trabalho com disponibilidades, tanto com brita, tanto sem brita, já que muitas vezes por demanda interna da empresa não era

possível aguardar a chegada do agregado para as frentes preestabelecidas ou as frentes disponíveis não eram adequadas para realizar os testes de forma eficiente.

As frentes escolhidas tiveram variação de tamanho de bancada entre 6 e 16 metros de altura, com essa altura sendo determinada pelo planejamento de mina da empresa em questão.

Para as fotos que seriam usadas no software para se obter a curva granulométrica do material tivessem maior representatividade, algumas imagens foram capturadas após os equipamentos de carga movimentarem o material desmontado, para tentar obter uma melhor representatividade do material como um todo. O uso da análise granulométrica dinâmica era o ideal de ser adotado, entretanto, esse sistema não é usado na empresa para se controlar a granulometria do material desmontado, por isso foi escolhido o método de análise estática, já que para esse método é exigido somente fotos da pilha desmontada.

#### **3.4.1 Frentes Distintas**

Por questões operacionais e/ou técnicas não foi possível realizar todos os testes na mesma frente de trabalho, sendo assim, foram realizados desmontes em algumas frentes da mina com litologias parecidas e que tinham comprimento dos furos parecidos e com o mesmo tamanho de tampão como está sendo demonstrado na Tabela 2. Dessa forma, foi possível manter o tampão e comprimento dos furos idênticos, alterando somente a litologia da frente que foi desmontada, sendo possível obter confiabilidade nos testes feitos nessas frentes comparando o tampão com brita e o tampão do pó gerado na perfuração.

#### **3.4.2 Frentes Iguais**

Dois desmontes, um sem brita no tampão e outro com a brita 0, foram realizados na frente 14, onde a litologia e o tampão eram praticamente iguais e profundidade dos furos tinha pouca diferença de metragem, permitindo analisar somente se a alteração do material do tampão tornaria a fragmentação diferente entre essas duas frentes.

### **3.5 Análise Granulométrica**

Após escolha do material do tampão, seu tamanho adequado e as frentes onde seriam feitos os testes era necessário analisar o material desmontado, isso foi feito pelo método da análise granulométrica estática, ou seja, foi retirada fotos da pilha desmontada

logo após o desmonte, como na Figura 15 e Figura 16, respectivamente. Esse método não é o mais adequado para analisar a eficiência do seu desmonte porque boa parte do material desmontado fica oculto, com uma pequena parte do seu material sendo analisada pelo software e não a sua totalidade como deveria ser feito. Entretanto, esse método foi adotado por ser a única maneira de se analisar os testes feitos e observar os possíveis benefícios do uso da brita no tampão.



Figura 15: Imagem usada para fazer a análise granulométrica estática.

Fonte:(AUTOR, 2023).



Figura 16: Imagem usada para fazer a análise granulométrica estática.

Fonte: (AUTOR, 2022).

## **4 RESULTADO E DISCUSSÕES**

### **4.1 Plano de fogo**

O plano de fogo pode ser definido como a representação dos parâmetros presentes no desmonte de rochas por explosivos, alguns desses parâmetros são: Quantidade de explosivo usado, quantidade de acessórios usados, malha adotada, quantidade de furos, profundidade dos furos, razão de carga, litologia etc. O plano de fogo tem como objetivo planejar a detonação como também permitir fiscalizações internas e externas.

### **4.2 Planos De Fogo Das Frentes**

A amarração dos desmorte é importância para uma boa fragmentação do maciço e uma formação adequada de pilha conforme a necessidade do seu equipamento de carga como também permite controlar fatores como vibração gerada na detonação e projeção do maciço. Observa-se nas Figuras 17 a 28 os planos de fogo e amarração do fogo das frentes 12, 14, 16 A e 16 B e 11, frentes nas quais foram feitos os testes. Na frente 12 foi substituído o pó gerado na perfuração por brita zero e os resultados da análise granulométrica dessa frente foi comparada as análises granulométricas feitas nas frentes 16 A, 16 B e frente 11. Já na frente 14 A foi substituído o material gerado na perfuração por brita 0 e foi comparado a análise granulométrica da frente 14 A com um desmorte realizado nessa mesma frente 14 B.

#### **4.2.1 Plano de fogo frente 12**

Desmorte realizado no dia 11/04/2023, nesse desmorte foi carregado 56 furos de 16 metros com 5 metros de tampão, cujo afastamento e espaçamento era 4,33 x 5,00 metros. Nesse desmorte foi substituído o pó gerado na perfuração por brita 0. Abaixo se tem os dados desse desmorte.

MATERIAL	DESCRIÇÃO	TOTAL	
GRANULADO	ANFO		KG
ENCARTUCHADO	EMULSÃO	14506	KG
	2X24 - 1,15		
BOOSTER	225		KG
	450	42	
CORDEL	NP 05		M
	NP 10		
T.CHOQUE 15 M	250 ms		
	275ms		
T.CHOQUE 18 M	250 ms	84	PÇ
	475 ms		
T.CHOQUE 25 M	250 ms		PÇ
	275 ms		
RETARDO	9 MS	8	PÇ
	17 MS	-	
	25 MS	9	
	42 MS	1	
	100 MS	5	
	200 MS	-	
I-KON	15 M	1	PÇ
ESTOPIM	1,2 M	-	PÇ

VOL.T.DESMONTADO (m³)	14548,80	CARGA TOTAL (KG/FURO)	345,38
TON. T.DESMONTADA (t)	34335,17	RLC Emulsão (Kg/m)	31,40
TOTAL DE EXPL. (kg)	14506,00	RLC ANFO (kg/m)	-
RAZÃO DE CARGA (Kg/t)	0,422	H. CARGA FUNDO (m)	11,00
RAZÃO DE CARGA (Kg/m³)	0,997	H. CARGA DE COLUNA (m)	-
C. DE FUNDO (kg/furo)	345,38	TAMPÃO MÉDIO (m)	5,00
C. DE COLUNA (kg/furo)	-	Carga med. por espera (Kg)	690,76

Figura 17: Dados do desmonte da frente 12.

Fonte: (AUTOR,2023).

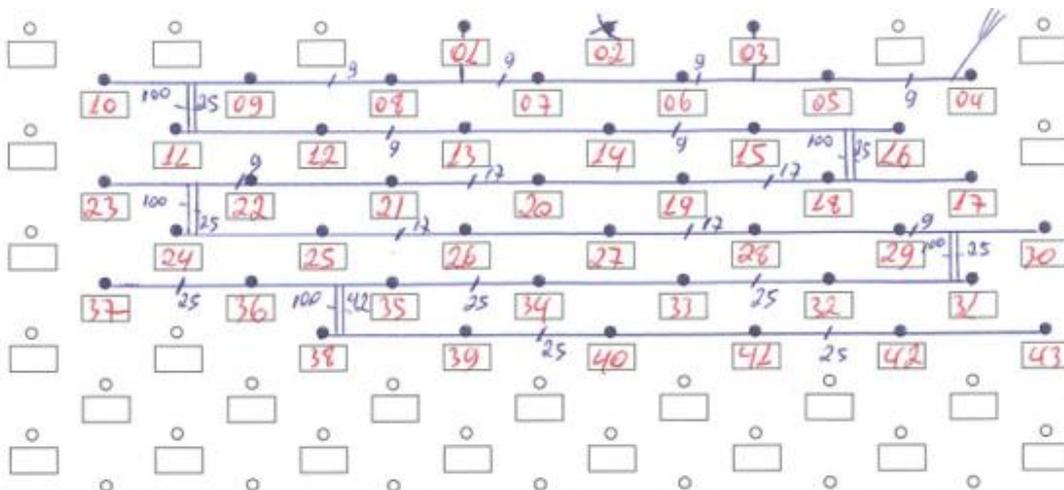


Figura 18: Amarração do desmonte frente 12.

Fonte: (AUTOR, 2023).

## 4.2.2 Plano de fogo frente 16 A

Desmante realizado no dia 27/04/2023, nesse desmante foi carregado 56 furos de 12 metros com 4 metros de tampão, cujo afastamento era de 4,33 x 5,00 metros. Nesse desmante o material que compôs o tampão era o pó gerado na perfuração.

MATERIAL	DESCRIÇÃO	TOTAL	
GRANULADO	ANFO		KG
ENCARTUCHADO	EMULSÃO	12674	KG
	2X24 - 1,15		
BOOSTER	225		KG
	450	56	
CORDEL	NP 05		M
	NP 10	409	
T.CHOQUE 15 M	250 ms		
	275ms		
T.CHOQUE 18 M	250 ms	112	PÇ
	475 ms		
T.CHOQUE 25 M	250 ms		PÇ
	275 ms		
RETARDO	9 MS	7	PÇ
	17 MS	9	
	25 MS	15	
	42 MS	4	
	100 MS	-	
	200 MS	-	
I-KON	15 M	1	PÇ
ESTOPIM	1,2 M	-	PÇ
VOL.T.DESMONTADO (m³)	14548,80	CARGA TOTAL (KG/FURO)	226,32
TON. T.DESMONTADA (t)	34771,63	RLC Emulsão (Kg/m)	28,29
TOTAL DE EXPL. (kg)	12674,00	RLC ANFO (kg/m)	-
RAZÃO DE CARGA (Kg/t)	0,364	H. CARGA FUNDO (m)	8,00
RAZÃO DE CARGA (Kg/m³)	0,871	H. CARGA DE COLUNA (m)	-
C. DE FUNDO (kg/furo)	226,32	TAMPÃO MÉDIO (m)	4,00
C. DE COLUNA (kg/furo)	-	Carga med. por espera (Kg)	452,64

Figura 19: Dados do desmante da frente 16 A.

Fonte: (AUTOR,2023).

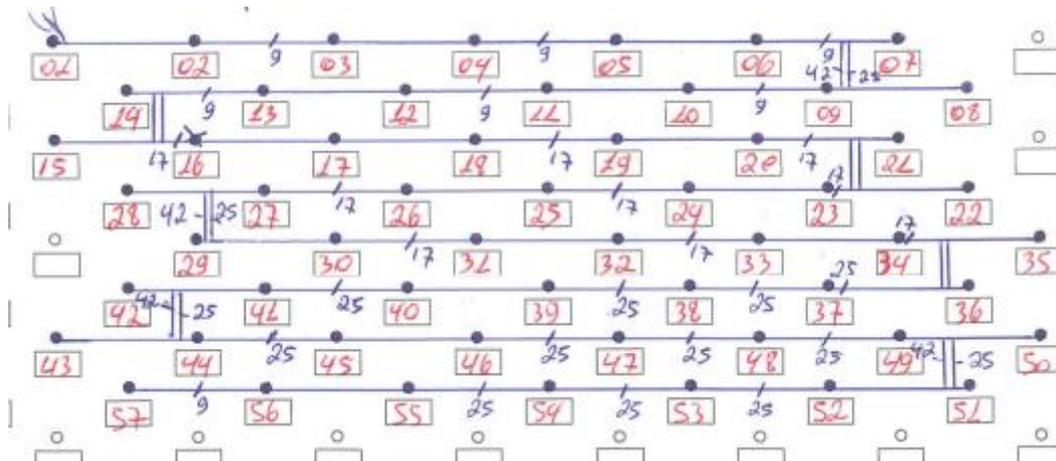


Figura 20: Amarração do desmonte frente 16A.

Fonte: (AUTOR, 2023).

### 4.2.3 Plano de fogo frente 16 B

Desmonte realizado no dia 24/04, nesse desmonte foi carregado 41 furos de 11 metros com 4 metros de tampão, cujo afastamento era de 4,33 x 5,00 metros. Nesse desmonte o material que compôs o tampão era o pó gerado na perfuração.

MATERIAL	DESCRIÇÃO	TOTAL	
GRANULADO	ANFO		KG
ENCARTUCHADO	EMULSÃO	7861	KG
	2X24 - 1,15		
BOOSTER	225		KG
	450	41	
CORDEL	NP 05		M
	NP 10	256	
T.CHOQUE 15 M	250 ms		
	275ms		
T.CHOQUE 18 M	250 ms	82	PÇ
	475 ms		
T.CHOQUE 25 M	250 ms		PÇ
	275 ms		
RETARDO	9 MS	10	PÇ
	17 MS	3	
	25 MS	6	
	42 MS	-	
	100 MS	3	
	200 MS	-	
I-KON	15 M	1	PÇ
ESTOPIM	1,2 M	-	PÇ

VOL.T.DESMONTADO (m³)	9764,15	CARGA TOTAL (KG/FURO)	191,73
TON. T.DESMONTADA (t)	23336,32	RLC Emulsão (Kg/m)	27,39
TOTAL DE EXPL. (kg)	7861,00	RLC ANFO (kg/m)	-
RAZÃO DE CARGA (Kg/t)	0,337	H. CARGA FUNDO (m)	7,00
RAZÃO DE CARGA (Kg/m³)	0,805	H. CARGA DE COLUNA (m)	-
C. DE FUNDO (kg/furo)	191,73	TAMPÃO MÉDIO (m)	4,00
C. DE COLUNA (kg/furo)	-	Carga med. por espera (Kg)	575,20

Figura 21: Dados do desmonte da frente 16 B.

Fonte: (AUTOR,2023).

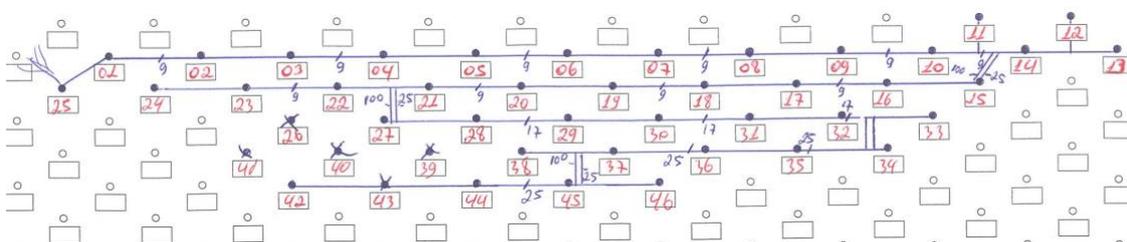


Figura 22: Amarração do desmonte frente 16 B.

Fonte: (AUTOR, 2023).

#### 4.2.4 Plano de fogo frente 11

Desmonte realizado no dia 04/05/2023, nesse desmonte foi carregado 70 furos de 6 metros com 3 metros de tampão, cujo afastamento era de 3,90 x 4,50 metros. Nesse desmonte o material que compôs o tampão era o pó gerado na perfuração.

MATERIAL	DESCRIÇÃO	TOTAL	
GRANULADO	ANFO		KG
ENCARTUCHADO	EMULSÃO	5983	KG
	2X24 - 1,15		
BOOSTER	225	70	KG
	450		
CORDEL	NP 05		M
	NP 10	406	
T.CHOQUE 15 M	250 ms		
	275ms		
T.CHOQUE 18 M	250 ms	140	PÇ
	475 ms		
T.CHOQUE 25 M	250 ms		PÇ
	275 ms		
RETARDO	9 MS	8	PÇ
	17 MS	11	
	25 MS	6	
	42 MS	-	
	100 MS	6	
	200 MS	-	
I-KON	15 M	1	PÇ
ESTOPIM	1,2 M	-	PÇ
VOL.T.DESMONTADO (m³)	7371,00	CARGA TOTAL (KG/FURO)	85,47
TON. T.DESMONTADA (t)	17690,40	RLC Emulsão (Kg/m)	28,49
TOTAL DE EXPL. (kg)	5983,00	RLC ANFO (kg/m)	-
RAZÃO DE CARGA (Kg/t)	0,338	H. CARGA FUNDO (m)	3,00
RAZÃO DE CARGA (Kg/m³)	0,812	H. CARGA DE COLUNA (m)	-
C. DE FUNDO (kg/furo)	85,47	TAMPÃO MÉDIO (m)	3,00
C. DE COLUNA (kg/furo)	-	Carga med. por espera (Kg)	256,41

Figura 23: Dados do desmonte da frente 11.

Fonte: (AUTOR,2023).



MATERIAL	DESCRIÇÃO	TOTAL	
GRANULADO	ANFO	0	KG
ENCARTUCHADO	EMULSÃO	13241	KG
	2X24 - 1,15	0	
BOOSTER	225	-	KG
	450	47	
CORDEL	NP 05	-	M
	NP 10	282	
T.CHOQUE 15 M	250 ms	-	
	275ms	-	
T.CHOQUE 18 M	250 ms	94	PÇ
	475 ms	-	
T.CHOQUE 25 M	250 ms	-	PÇ
	275 ms	-	
RETARDO	9 MS	9	PÇ
	17 MS	6	
	25 MS	6	
	42 MS	5	
	100 MS	0	
	200 MS	11	
I-KON	15 M	1	PÇ
ESTOPIM	1,2 M	-	PÇ
VOL.T.DESMONTADO (m³)	13197,60	CARGA TOTAL (KG/FURO)	281,72
TON. T.DESMONTADA (t)	30354,48	RLC Emulsão (Kg/m)	23,48
TOTAL DE EXPL. (kg)	13241,00	RLC ANFO (kg/m)	0,00
RAZÃO DE CARGA (Kg/t)	0,436	H. CARGA FUNDO (m)	12,00
RAZÃO DE CARGA (Kg/m³)	1,003	H. CARGA DE COLUNA (m)	0,00
C. DE FUNDO (kg/furo)	281,72	TAMPÃO MÉDIO (m)	4,00
C. DE COLUNA (kg/furo)	0,00	Carga med. por espera (Kg)	563,45
Se não, fazer APR.			
DETONAÇÃO	HORÁRIO:	12:00	
Tempo mínimo de retorno: 2'			

Figura 25: Dados do desmonte da frente 14 A.

Fonte: (AUTOR,2023).

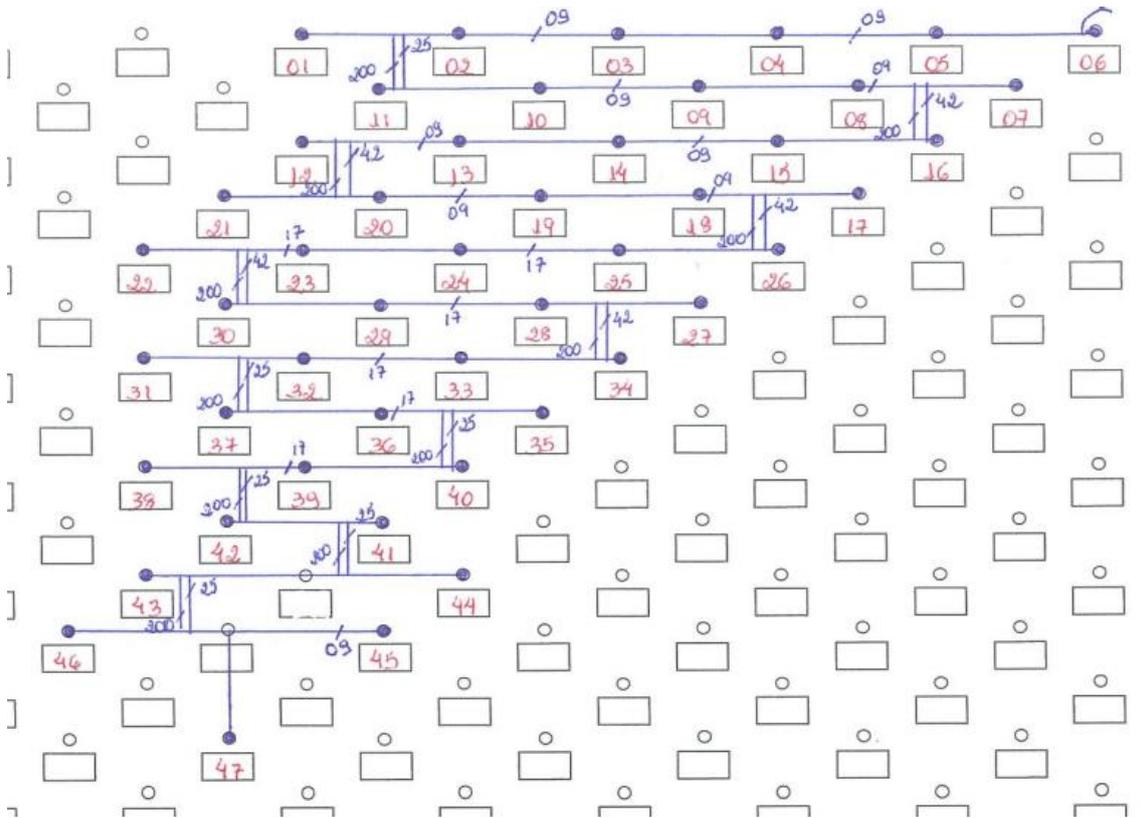


Figura 26: Amarração do desmonte frente 14 A.

Fonte: (AUTOR, 2023).

#### 4.2.6 Plano de fogo frente 14 B

Desmorte realizado no dia 11/07/2023, nesse desmorte foi carregado 63 furos de 12,35 metros com 4 metros de tampão, cujo afastamento era de 3,90 x 4,50 metros. Nesse desmorte o material que compôs o tampão era o pó gerado na perfuração. Como mostrado na figura 22 foi usado encartuchado nesse desmorte, entretanto, não foi usado encartuchado nos furos de produção, mas em matacão que era necessário realizar detonações secundárias.



### 4.3 Análise dos resultados

Após cada detonação várias fotos foram retiradas do material gerado na detonação com o intuito de fazer a análise granulométrica do tipo estática nesse material. Após receber os resultados era necessário estimar uma fragmentação média naquela frente e isso foi feito fazendo uma média aritmética com os valores do D80 para cada frente desmontada. Esse processo de calcular uma média aritmética com cada resultado recebido foi necessário para se ter uma maior representatividade, sendo assim foram retiradas diversas fotos do material desmontado, entretanto, o software usado para criar a curva granulométrica não conseguia analisar todas essas fotos de uma vez, entregando o resultado de cada foto separada e não do conjunto daquele frente em específico, sendo necessário o cálculo da média do D80 de cada análise para se chegar em uma média geral de fragmentação daquela frente.

#### 4.3.1 Desmonte em frentes distintas

Na Tabela 2 podemos comparar os desmontes realizados em quatro frentes distintas com o intuito de comparar reduções na fragmentação causadas pela troca do pó gerado na perfuração por brita 0, mesmo que a litologia e o tamanho do tampão fossem diferentes o intuito era observar se a alteração no material que compunha tampão teria diferença nos resultados. Na frente 12 era esperado um D80 maior que o das outras frentes por causa do tamanho do tampão, já que o tampão era de 5 metros era esperado uma fragmentação mais grosseira e com grande geração de matacões, o que não ocorreu. Sendo assim a frente 12 mesmo com um tampão com tamanho maior obteve uma fragmentação média menor em comparação com as outras frentes analisadas, mostrando assim uma maior efetividade por causa do uso da brita no tampão em comparação com o tampão com o pó gerado na perfuração.

Tabela 2: Dados desmontes em frentes diferentes.

Frente	Profundidade	Tamanho do tampão	Uso de brita	D80 médio
12	16	5	Sim	289
16 A	12	4	Não	352
16 B	11	4	Não	328
11	6	3	Não	422

Fonte: (AUTOR, 2023).

### 4.3.2 Desmonte em frentes iguais

Com o intuito de se fazer uma comparação mais assertiva foram realizados testes na mesma frente de lavra, com isso a litologia era bem parecida, reduzindo possíveis erros causados por esse fator, além disso a altura do tampão era a mesma o que contribuiu para um teste mais fidedigno e com melhores resultados. Conforme a Tabela 3 na frente onde se substituiu o pó gerado, com o D80 médio da frente que foi usado a brita no tampão 75% menor que na frente onde se adotou o tampão o pó gerado na perfuração como material do tampão.

Tabela 3: Dados desmontes na mesma frente.

Frente	Profundidade	Tamanho do tampão	Uso de brita	D80 médio(mm)
14 A	16	4	Sim	147
14 B	12,35	4	Não	601

Fonte: (AUTOR, 2023).

## 4.4 Análises granulométricas

As análises granulométricas foram feitas pelo software I-blast da empresa DNA blast, essas análises consistiam em comparar uma série de fotos do material desmontado com um objeto de dimensões conhecidas e o software determinava uma curva granulométrica.

### 4.4.1 Frente 12

Nas Figuras 29,30 e 31 é mostrado todas as análises feitas nas fotos da frente 12, com um D80 de aproximadamente 289 milímetros. Pode-se notar pelas fotos retidas dessa frente que a fragmentação do material além de ser ideal ficou homogênea, sem grandes blocos, o que facilita durante o processo de carregamento.

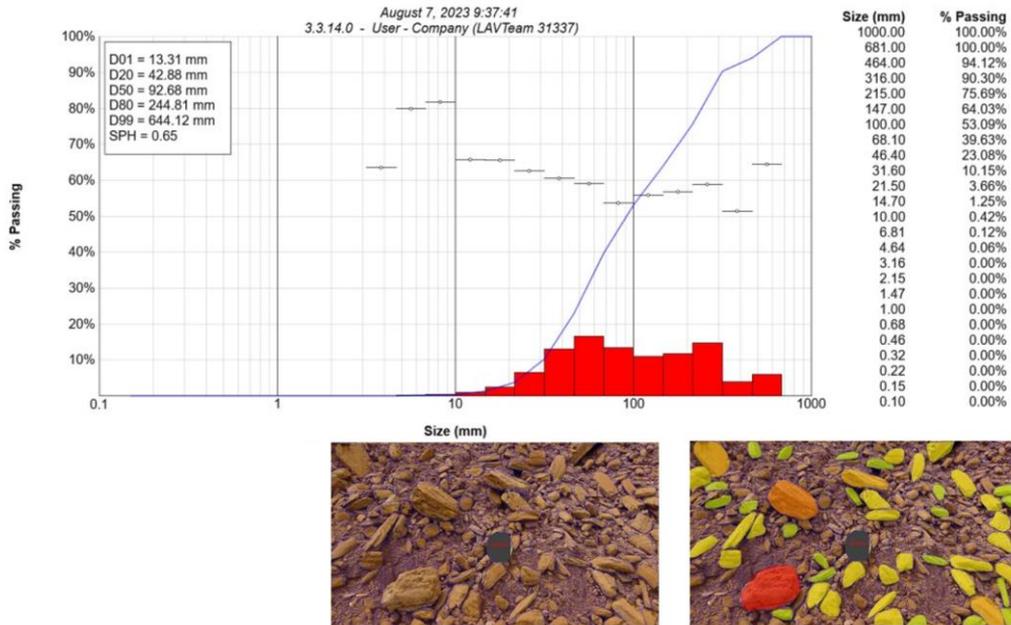


Figura 29: Análise granulométrica frente 12.

Fonte: (I-BLAST,2023).

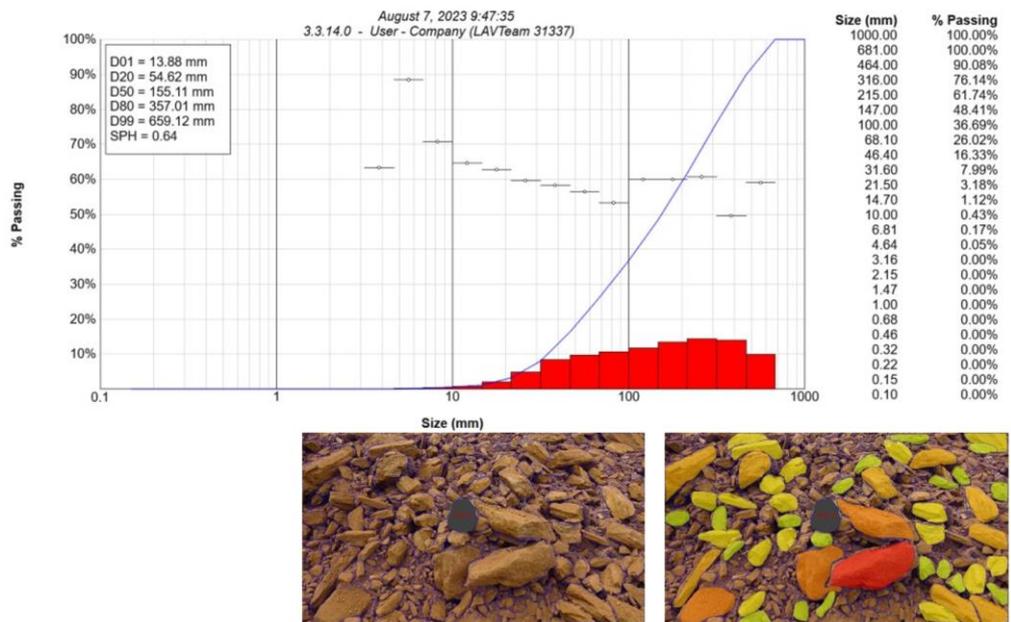


Figura 30: Análise granulométrica frente 12.

Fonte: (I-BLAST,2023).

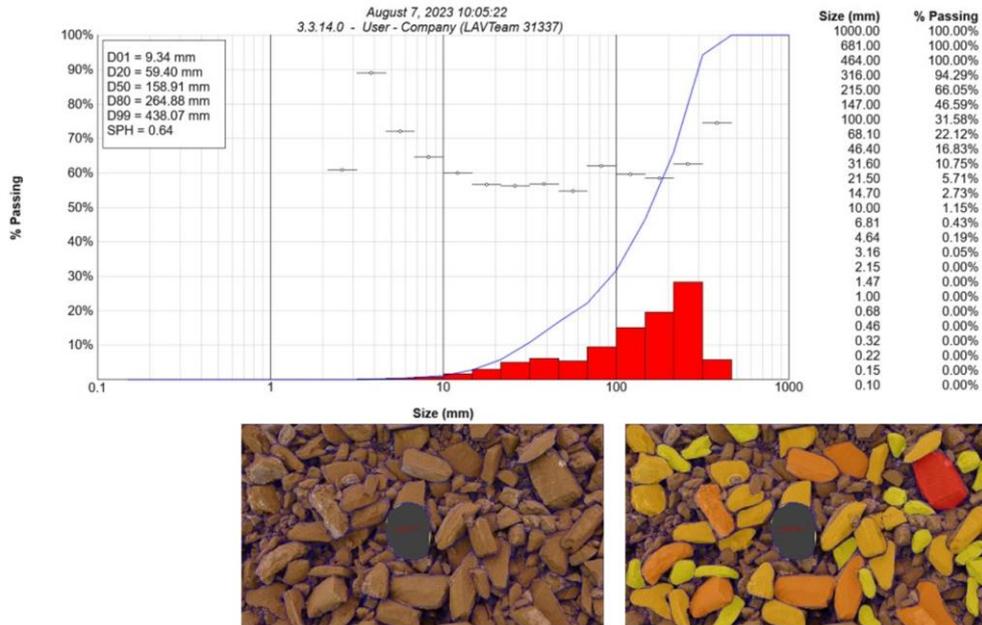


Figura 31: Análise granulométrica frente 12.

Fonte: (I-BLAST,2023).

#### 4.4.2 Frente 16 A

Nas Figuras 32,33 e 34 as análises feitas nas fotos da frente 16 A são mostrada, nessa frente o D80 obtido foi de aproximadamente de 352 milímetros. Essa frente conforme as fotos abaixo teve uma boa fragmentação, formando poucos blocos.

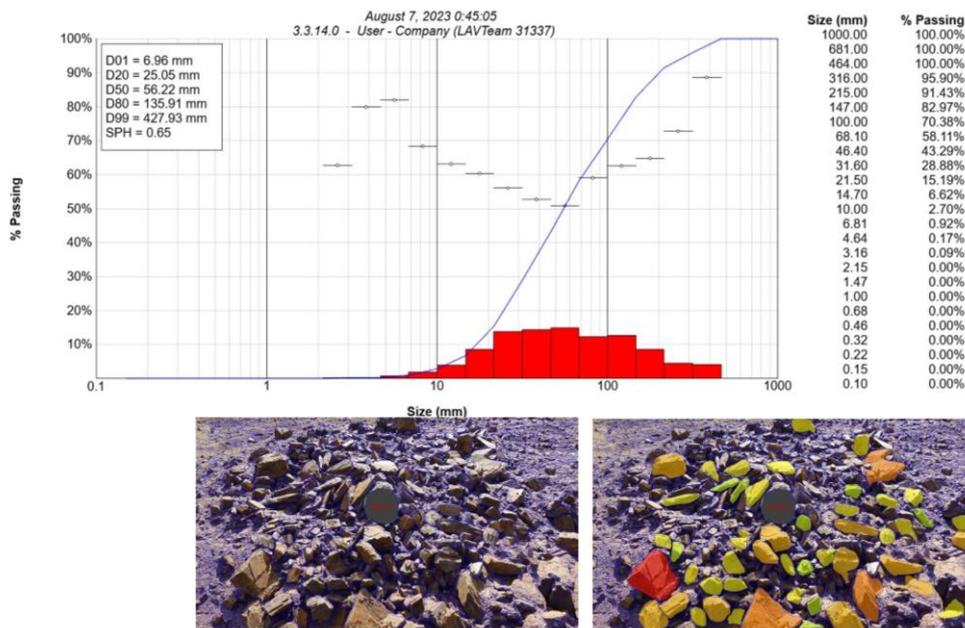


Figura 32: Análise granulométrica frente 16 A.

Fonte: (I-BLAST,2023).

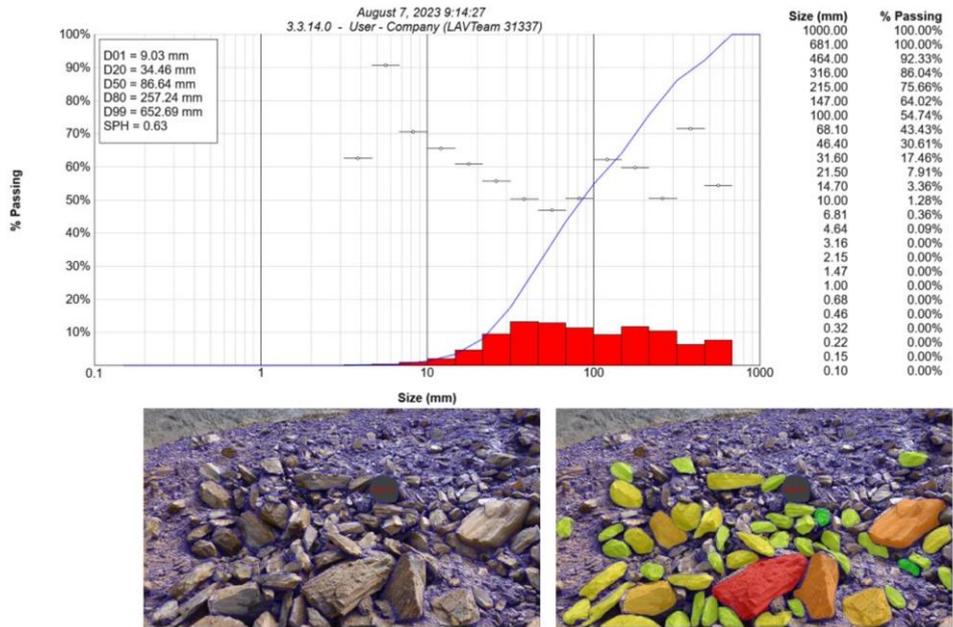


Figura 33: Análise granulométrica frente 16 A.

Fonte: (I-BLAST,2023).

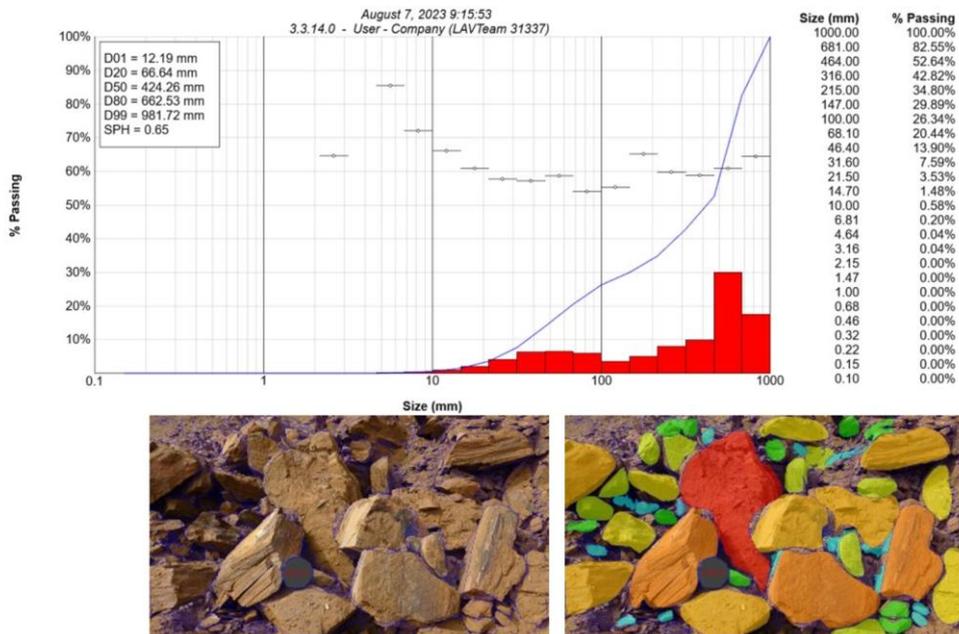


Figura 34: Análise granulométrica frente 16 A.

Fonte: (I-BLAST,2023).

#### 4.4.3 Frente 16 B

Entre as Figuras 35 a 38 temos as análises feitas nas fotos da frente 16 B, cujo D80 médio obtido foi de 328 milímetros. Nessa frente a fragmentação foi boa, entretanto,

pode-se observar grandes blocos(matacão) blocos nos quais pode reduzir a eficiência do carregamento desse material.

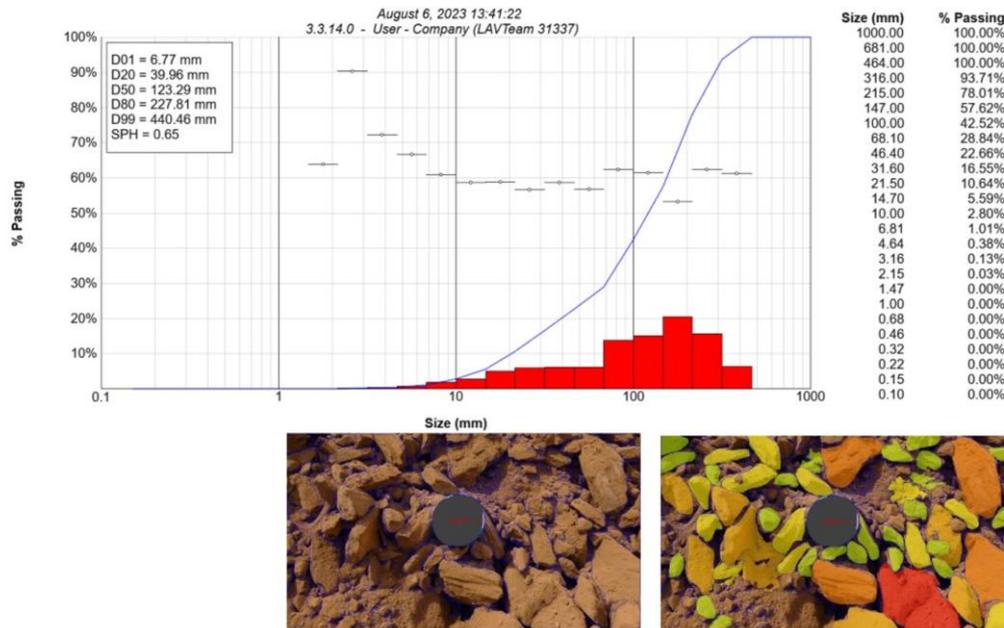


Figura 35: Análise granulométrica frente 16 B.

Fonte: (I-BLAST,2023).

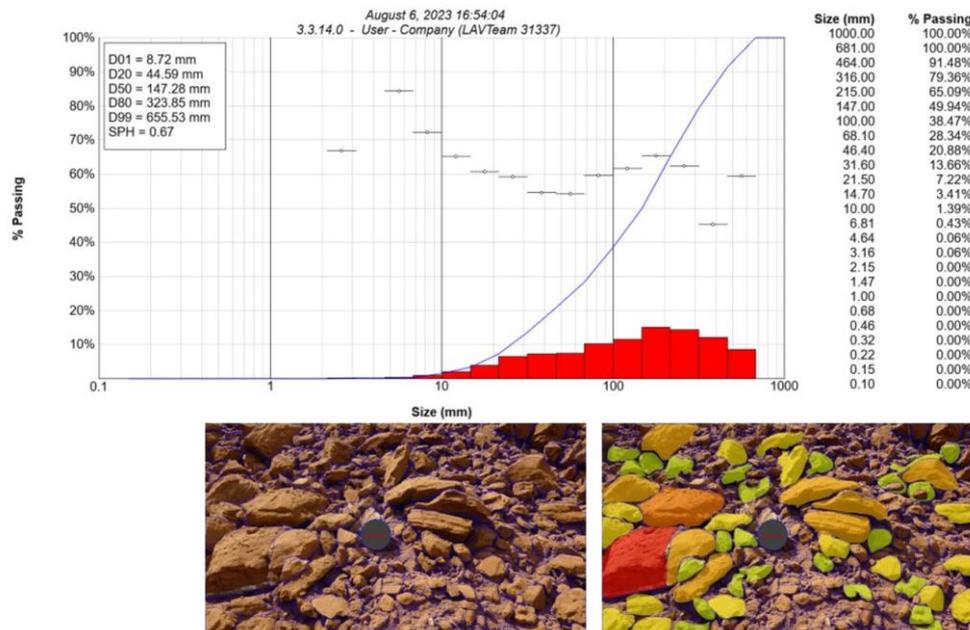


Figura 36: Análise granulométrica frente 16 B.

Fonte: (I-BLAST,2023).

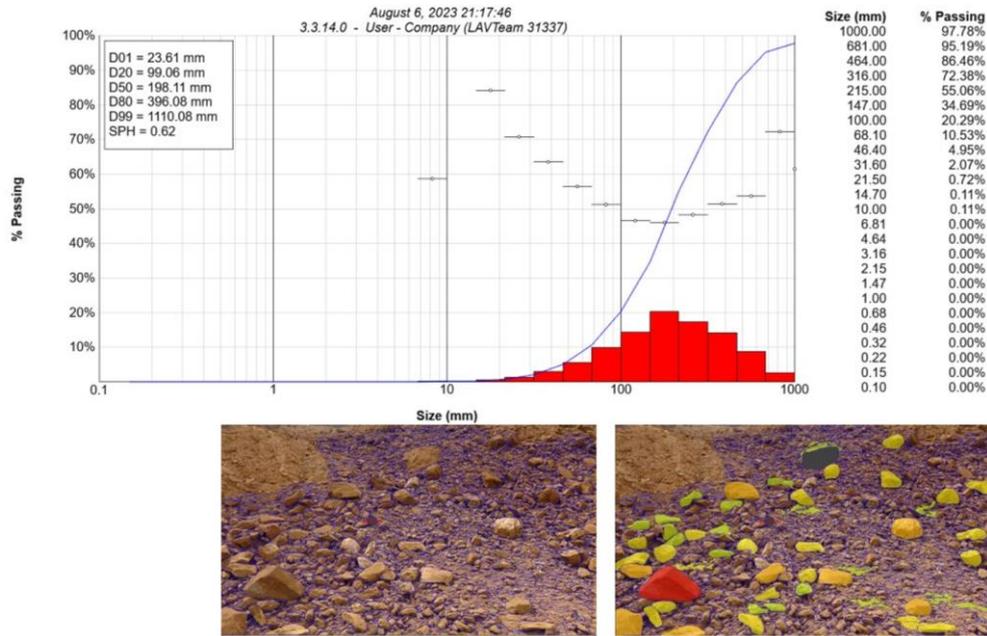


Figura 37: Análise granulométrica frente 16 B.

Fonte: (I-BLAST,2023).

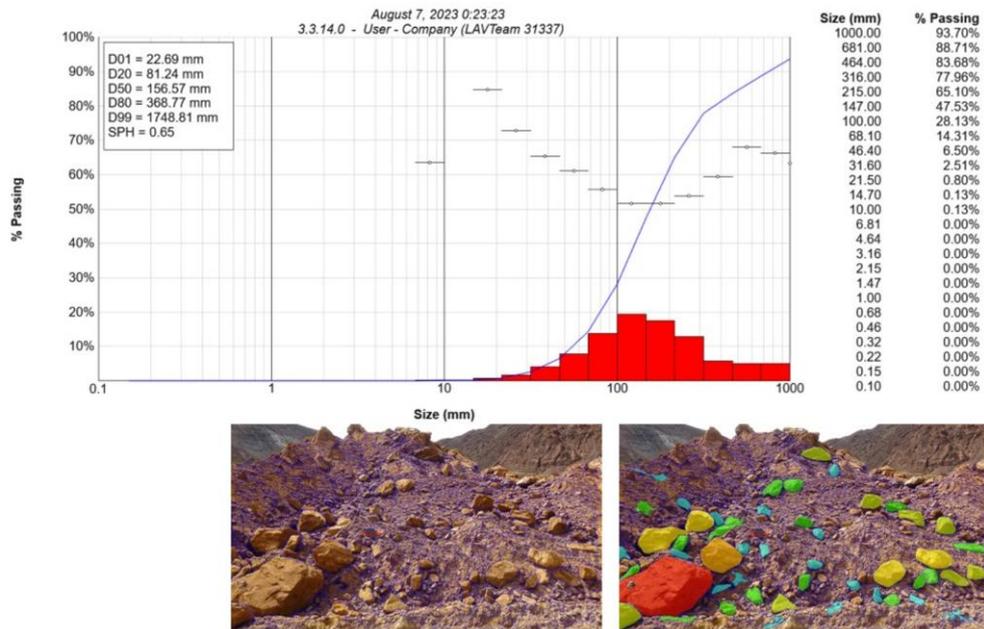


Figura 38: Análise granulométrica frente 16 B.

Fonte: (I-BLAST,2023).

#### 4.4.4 Frente 11

Nessa frente cujo tamanho do furo era de apenas 6 metros, foi feita análise granulométrica de diversas fotos após o material desmontado ser movimentado pelos equipamentos de carregamento, com um D80 de 422 milímetros. Nessa frente a

fragmentação foi inadequada por causa da baixa profundidade dos furos, assim os gases gerados na detonação não são confinados como deveria, favorecendo o aparecimento dos matações. Como pode-se notar entre as Figuras 39 a 42 a fragmentação não foi efetiva nessa frente.

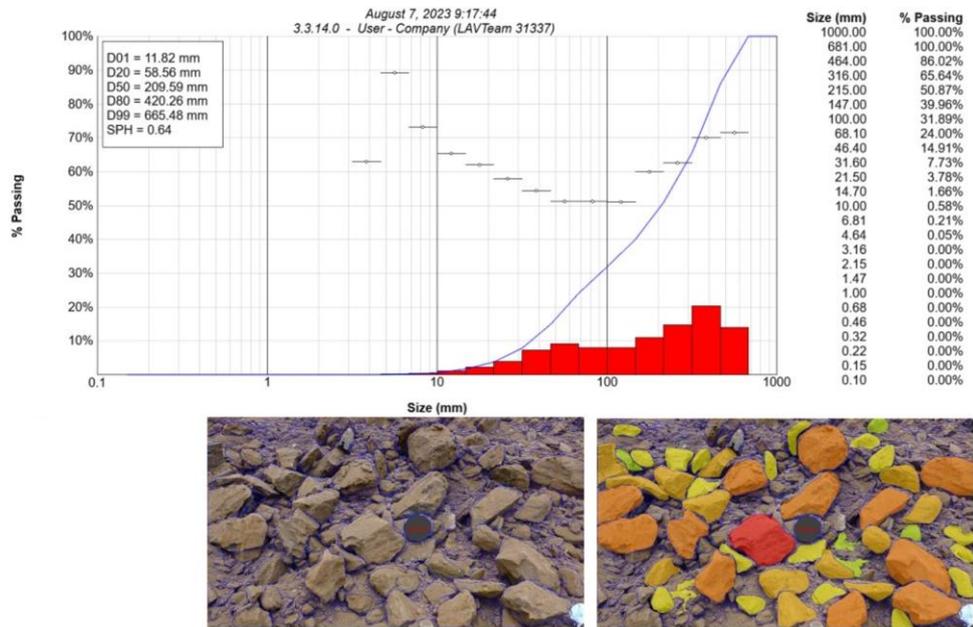


Figura 39: Análise granulométrica frente 11.

Fonte: (I-BLAST,2023).

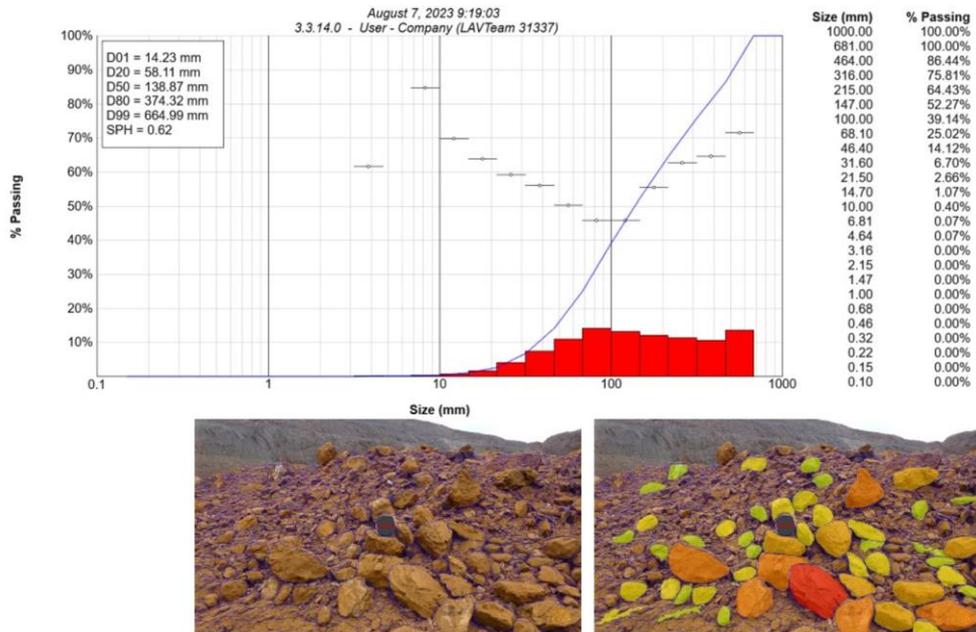


Figura 40: Análise granulométrica frente 11.

Fonte: (I-BLAST,2023).

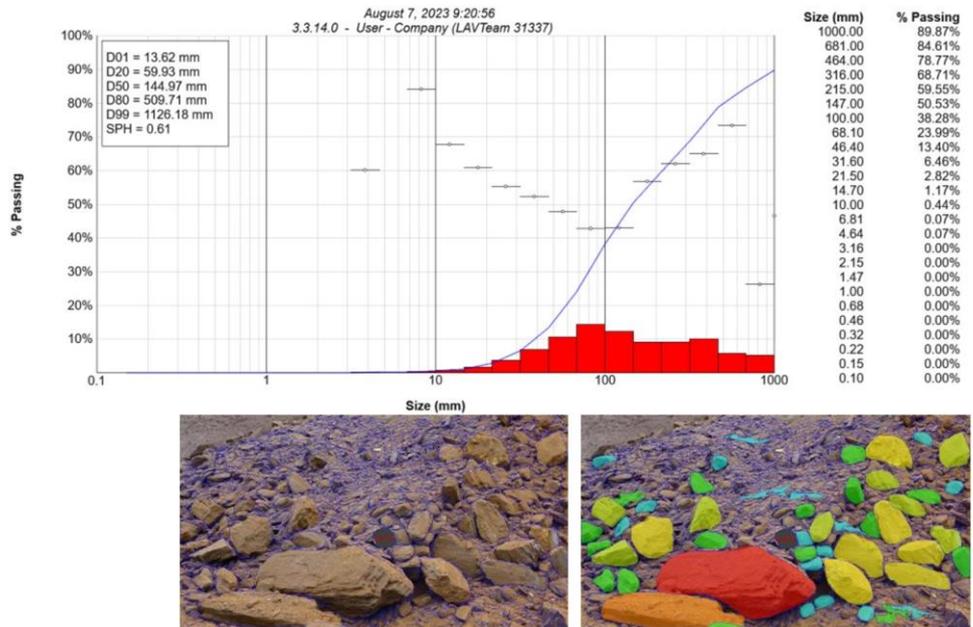


Figura 41: Análise granulométrica frente 11.

Fonte: (I-BLAST,2023).

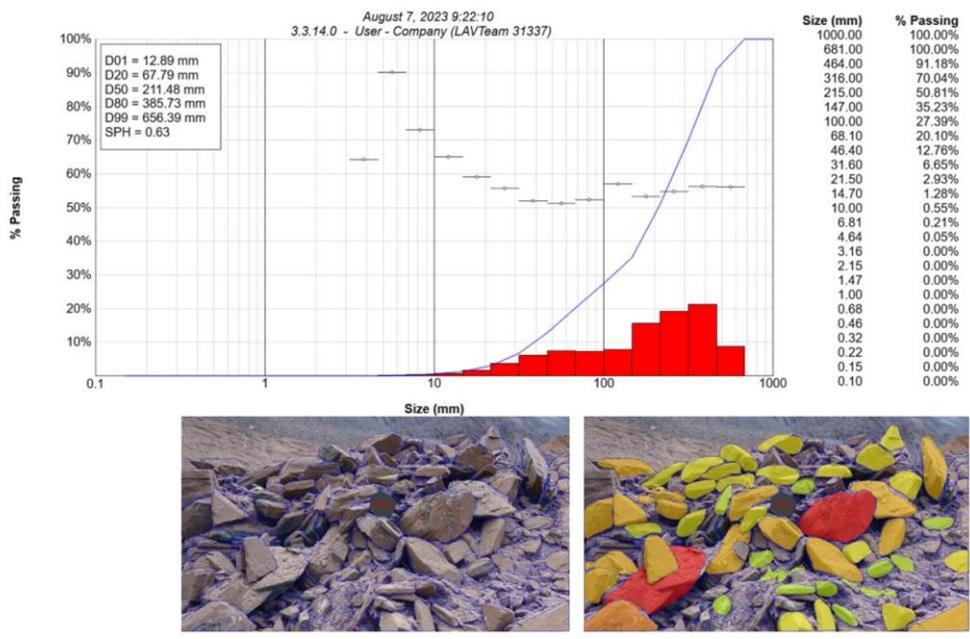


Figura 42: Análise granulométrica frente 11.

Fonte:(I-BLAST,2023).

#### 4.4.5 Frente 14 A

Nas imagens abaixo temos as fotos tiradas para a análise da fragmentação da frente 14, como é mostrado entre as Figuras 43 a 47 o material foi bem fragmentado com um

D80 de entorno de 147 milímetros. Como podemos observar, a fragmentação nessa frente foi muito efetiva, com a geração de quase nenhum bloco e fragmentando bem o material.

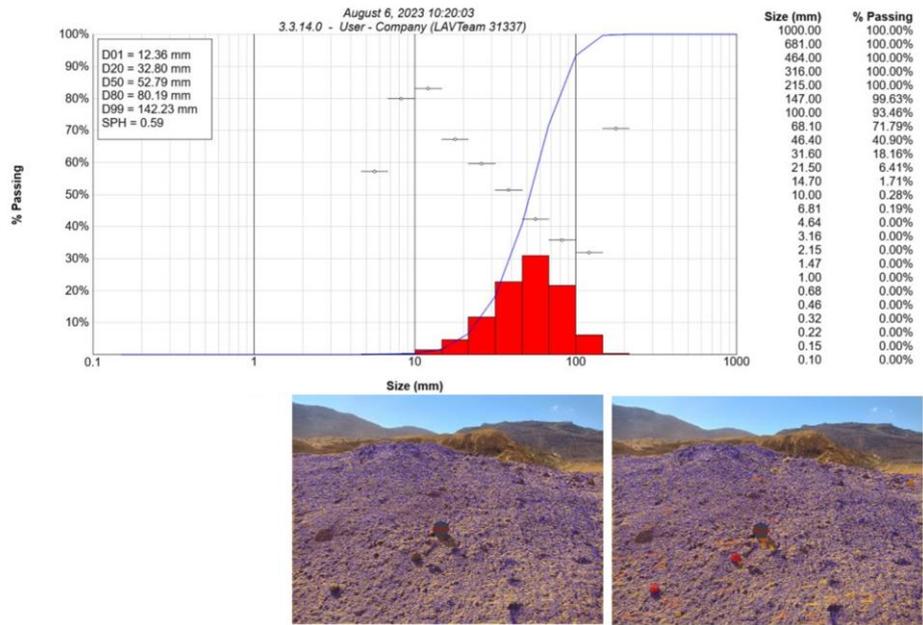


Figura 43: Análise granulométrica frente 14 A.

Fonte: (I-BLAST,2023).

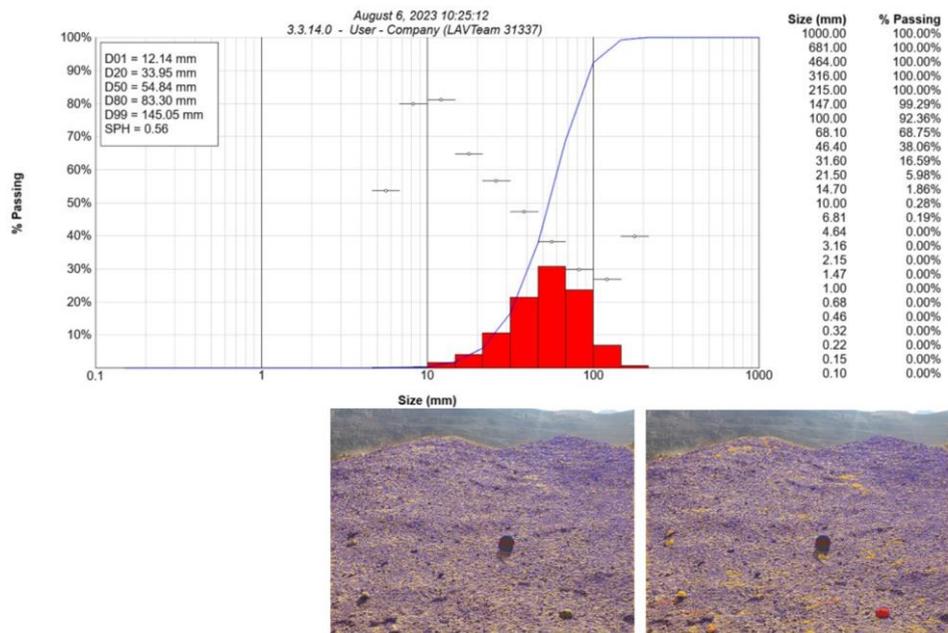


Figura 44: Análise granulométrica frente 14 A.

Fonte: (I-BLAST,2023).

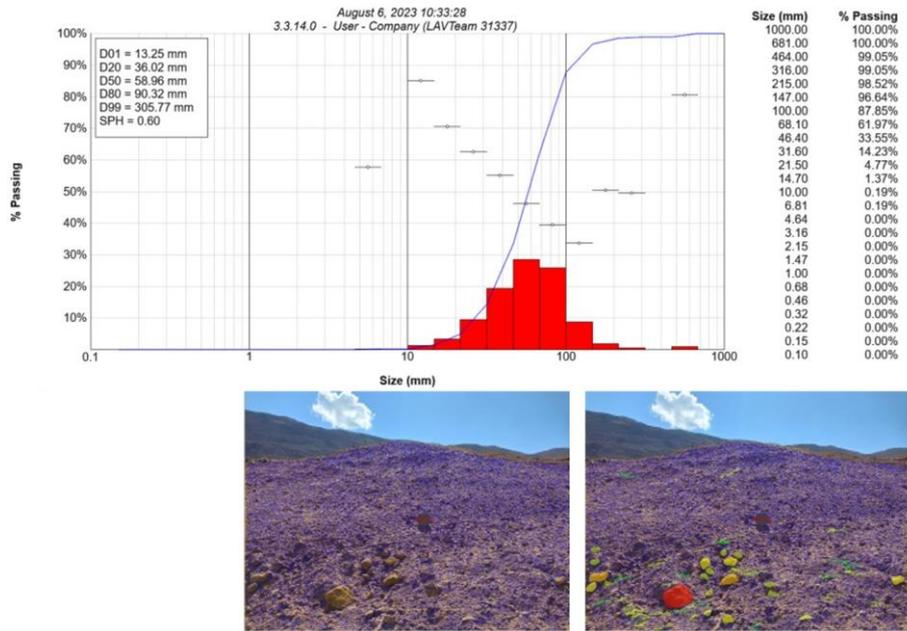


Figura 45: Análise granulométrica frente 14 A.

Fonte: (I-BLAST,2023).

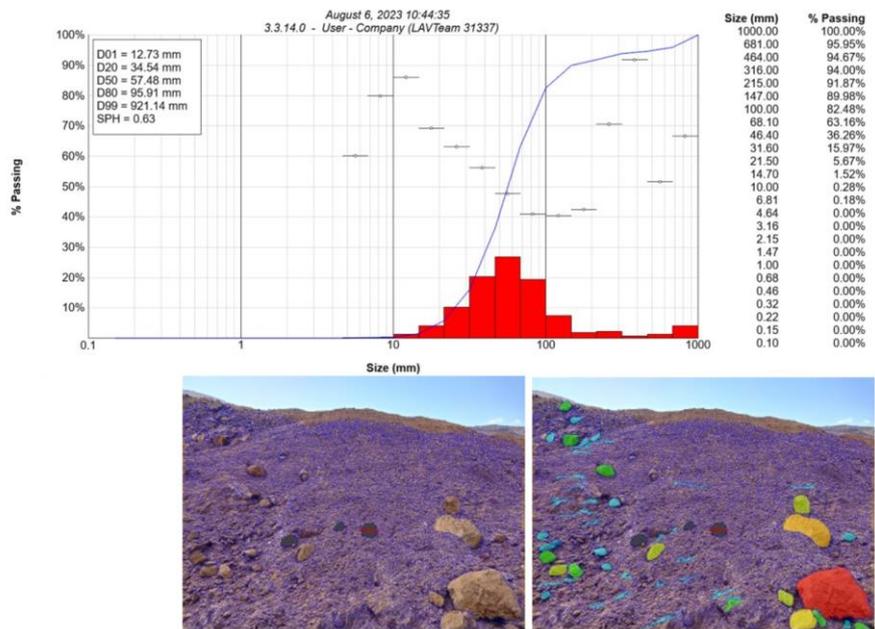


Figura 46: Análise granulométrica frente 14 A.

Fonte: (I-BLAST,2023).

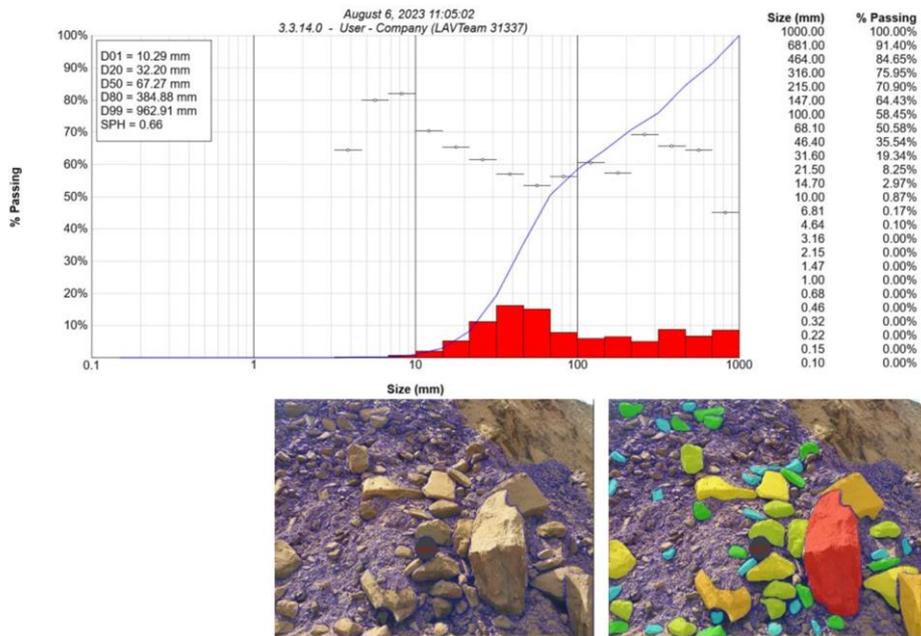


Figura 47: Análise granulométrica frente 14 A.

Fonte: (I-BLAST,2023).

#### 4.4.6 Frente 14 B

Nas imagens abaixo temos as fotos e os resultados das análises granulométricas realizadas na frente 14 B, nessa frente o D80 médio foi de aproximadamente 422 milímetros. Conforme as Figuras 48, 49 e 50 a fragmentação foi pouco eficiente, formando grandes quantidades de blocos e sendo pouco homogênea.

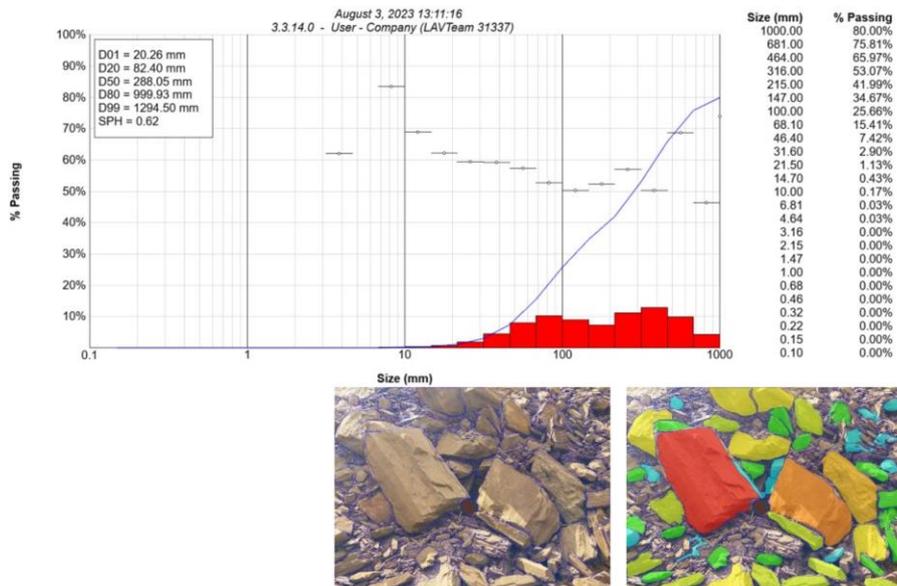


Figura 48: Análise granulométrica frente 14 B.

Fonte:(I-BLAST,2023).

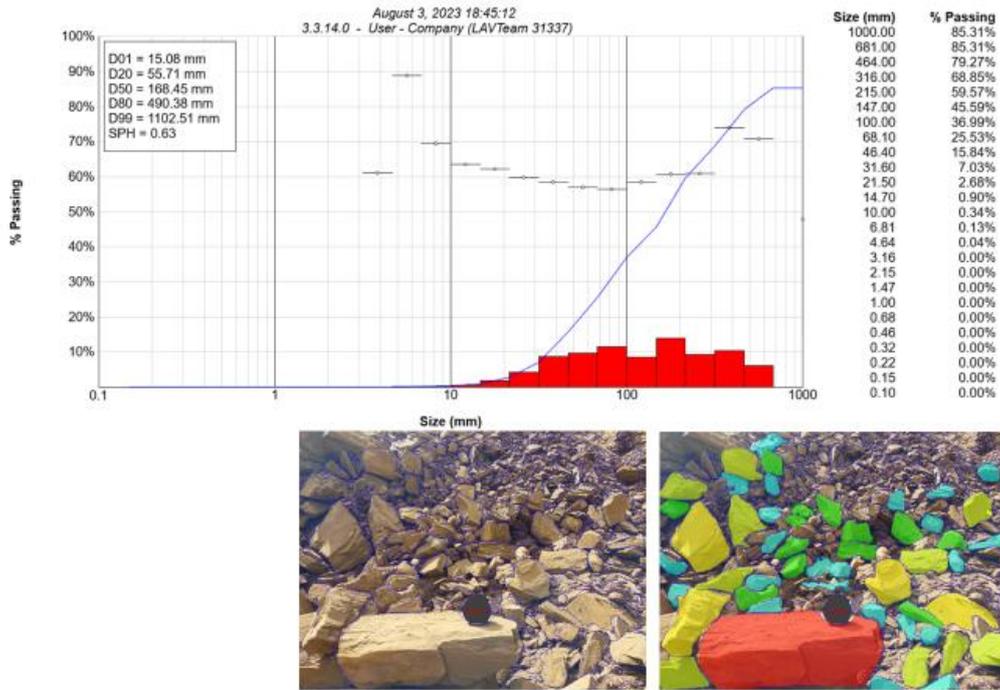


Figura 49: Análise granulométrica frente 14 B.

Fonte:(I-BLAST,2023).

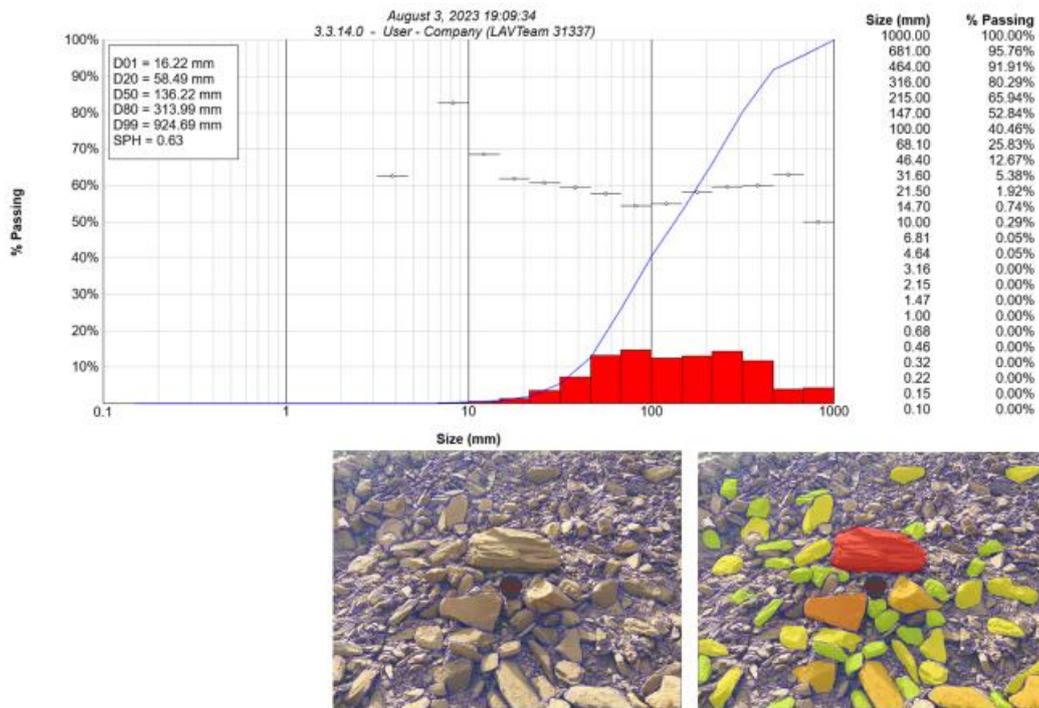


Figura 50: Análise granulométrica frente 14 B.

Fonte:(I-BLAST,2023).

## 5 CONCLUSÃO

A partir das análises feitas e dos dados mostrados anteriormente, a substituição do pó gerado na perfuração por brita zero mostrou-se eficiente na retenção dos gases gerados pelo explosivo e conseqüentemente reduzindo de forma considerável a fragmentação média das frentes nos quais se usou brita gerado 0 no lugar do pó gerado na perfuração. Esse fato confirma que as características granulares da brita causam um intertrancamento dos gases gerados pelo explosivo evitando o escape desses gases pela boca do furo e fazendo que essa energia que seria desperdiçada fosse aplicada na fragmentação do maciço rochoso como é dito por diversos autores da área de perfuração e desmonte.

Nos testes realizados em frentes diferentes, ou seja, com litologia distintas e com as alturas do tampão da seguinte forma: frente 12 com 5 metros de tampão, frentes 16 com 4 metros de tampão e frente 11 com 3 metros de tampão por ter os furos mais rasos, foi observado um menor valor de D80 médio na frente 12 em relação as frentes 16 e 11, mesmo que essa frente apresentasse um tamanho de tampão maior que o usual, isso mostra a eficiência da brita 0 em reter os gases gerados na detonação, já que era esperado uma granulometria média maior na frente 12 em relação as outras frentes por causa do tamanho do tampão maior.

Nos testes realizados na mesma região litológica e com a mesma altura de tampão de 4 metros, a brita também se mostrou eficiente, reduzindo a fragmentação média no maciço onde se adotou a brita em comparação ao tampão com pó gerado na perfuração em 75%, mostrando como a troca foi eficiente para reduzir a fragmentação média do maciço. Nessa frente podemos observar mais claramente como a escolha adequada para o material que compõem o tampão faz diferença no resultado do seu desmonte, reduzindo consideravelmente a granulometria média do maciço.

Portanto, fica evidente com esse trabalho como a brita 0 em substituição do pó gerado na perfuração altera de forma considerável o resultado do desmonte de rochas por explosivos, reduzindo a fragmentação média do seu maciço e permitindo conseqüentemente ganhos de produtividade no seu carregamento e redução de custos com desmontes secundários. Nas frentes distintas a brita conseguiu reduzir o tamanho médio da fragmentação mesmo que era esperado o oposto, já que o tamanho do tampão era maior que comparado as outras frentes analisadas, mesmo assim observou-se uma redução na fragmentação do maciço. Nas frentes na mesma região litológica e com o mesmo tamanho

de tampão a diferença na redução foi ainda mais gritante, girando em torno de 75%. Dessa forma, podemos concluir que a brita zero é realmente eficiente, apresentando reduções na fragmentação e conseqüentemente nas etapas posteriores ao desmonte.

## REFERÊNCIAS

- COMPEL, Anfo, disponível em: <https://www.compeexplosivos.com.br/anfo>, acessado: 22 de julho de 2023.
- REDDY, Sudhakar; TRIPATHI, Abhishek Kumar; PARIDA, Satyajeeet. **Influence of stemming material on performance of blasting**. Palarch's Journal Of Archaeology, 2020.
- SANTOS, Michael José Batista dos; CARVALHO, Suzi Cardoso de; BRUM, Irineu Antônio Schadach de. **Avaliação de riscos e controle de segurança em pedreira**. 2021.
- LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves. **Tratamento de minérios**. 5ª Edição/Ed, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.
- TRUEMAN, E. **In pit crushing: the application and benefits of track mounted crushing equipment**. In: Goldfields Mining Expo. Western Austrália, 2001. In: National Seminar on New Trends in Cost Effective Iron Ore Mining. Noamundi, Bhar, Índia. 2001.
- SILVA, V. C. **Curso MIN 210 – Operações Mineiras**. Ouro Preto, 2009.
- ARROYO, Carlos. **Operações Mineiras – MIN112**.Ouro Preto, 2020
- MORAIS, J. L. **Simulação de Fragmentação dos Desmontes de Rochas por Explosivos**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
- JIMENO, L. C. **Manual de Perforacion y Voladura de Rocas**. Madrid, Espanha, 2003
- ALONSO, Bernaola José; GÓMEZ, Castilla Jorge; HERBERT, Herrera Juan. **Perforación y voladura de rocas em mineria**. Madrid, 2013
- CURI, Adilson. **Lavra de Minas**. São Paulo: Oficina De Textos, 2017.
- SILVA, Valdir. **Desmonte de rochas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019]
- EPIROC, bit tricônico, disponível em: <https://www.epiroc.com/pt-br/products/rock-drilling-tools/rotary-drilling-tools>, acessado: 12 de agosto de 2023
- OLOFSSON, S.O. **Applied Explosives Technology for Construction and Mining**. Arla: APPELX, 1990.
- PINA, Marcelo da Silva. **Análise da eficiência do desmonte de explosivos com uso de tampão não convencional rígido de gesso**. Universidade Federal de Pernambuco, 2017.
- QUEVEDO, J. M. G. **Modelo de Simulação para o Sistema de Carregamento e Transporte em Mina a Céu Aberto**. Rio de Janeiro, 2009
- LIMA, Rosa Malena Fernandes; LUZ, José Aurélio Medeiros da. **Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes**. Revista Escola de Minas, 2001
- CUNHA, Benvindo Eduardo. **Avaliação do desmonte de rochas com explosivos por análise de imagens digitais**. Universidade Federal De Goias, 2014
- Atlas Powder Company. **Explosives and Rock Blasting**. Dallas: Atlas Powder, 1987.
- NIEBLE, C. M. **Desmontes cuidadosos com explosivos: Aspectos de engenharia e ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- WIPFLAG, Sistema de análise, disponível em: <https://wipware.com/products/reflex-vehicle-analysis-system/>, acessado 05 de Agosto de 2023