



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE MINERAÇÃO E GEOLOGIA - UAMG

ELEN SAMARA PORTO DOS SANTOS

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
ENAEX BRASIL – CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE SÃO PAULO

Campina Grande - PB

Maio - 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE MINERAÇÃO E GEOLOGIA - UAMG

ELEN SAMARA PORTO DOS SANTOS

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
ENAEX BRASIL – CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE SÃO PAULO

Relatório de estágio supervisionado submetido à Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientadora: Profa. Msc, Barthira Almeida Nunes

Supervisores do estágio: Coordenadora Técnica EMTS, Thais Costa Silva, Coordenador Técnico EMTS, Sérgio Massaru Tamai

Campina Grande - PB

Maio - 2024

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

ENAEX BRASIL – CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE SÃO PAULO

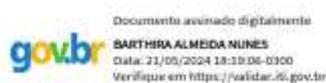
ATA DE DEFESA DE RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Aos 21 dias do mês de maio do ano de 2024 às 17 horas e 10 minutos, na sala virtual do Google Meet, teve início a defesa do Relatório de Estágio da Aluna **ELEN SAMARA PORTO DOS SANTOS** sob o título “RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO ENAEX BRASIL – CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE SÃO PAULO.”

A banca examinadora foi composta pelos avaliadores:

Nome	Titulação	Função
Barthira Almeida Nunes	Doutora	Presidente (orientadora)
Antônio Pedro Ferreira Sousa	Doutor	Membro interno
Rafael Chagas Silva	Mestre	Membro interno

Concluída a apresentação da defesa pelo discente, os avaliadores passaram à análise do trabalho produzido. Após as considerações finais, a banca deliberou pela **APROVAÇÃO** do Relatório de Estágio da aluna, com nota **9,4**.



Profa. Dra. Barthira Almeida Nunes
Presidente da Banca

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Perfuratriz hidráulica.	10
Figura 2 Pólvora negra.	11
Figura 3 ANFO e Emulsão Explosiva.	11
Figura 4 Estopins/espoletas, cordeis detonantes e boosters.	12
Figura 5 Iniciadores eletrônicos e unidades de controle com seus dispositivos de programação.	13
Figura 6 Representação das malhas quadrada e retangular.	14
Figura 7 Representação da malha estagiada (pé de galinha).	14
Figura 8 Variáveis do plano de fogo.	15
Figura 9 Fragmentos com esferas antes e depois de analisadas no software WipFrag.	18
Figura 10 Curva granulométrica gerada pelo Wipfrag.	18
Figura 11 Instalação fabril da Enaex em 1920.	19
Figura 12 Primeiro caminhão fábrica da empresa.	20
Figura 13 Filiais mundiais onde a empresa atua.	21
Figura 14 Filiais no Brasil.	22
Figura 15 Mapa de localização da Enaex São Paulo.	23
Figura 16 Mapa de localização da US Atlantic Nickel.	23
Figura 17 Mapa de localização da Enaex Pernambuco.	24
Figura 18 Ácido Nítrico 60%.	25
Figura 19 Prillex.	25
Figura 20 Anfomax.	26
Figura 21 Ibemux.	26
Figura 22 Emulsão encartuchada.	26
Figura 23 Booster.	27
Figura 24 Britapim.	27
Figura 25 Britacord.	28
Figura 26 Brinel.	28
Figura 27 Sistemas de Iniciação eletrônica Deveytronic.	29
Figura 28 Blastbag.	29
Figura 29 Rock Rivet.	30
Figura 30 O-Pitdev.	30
Figura 31 Interface do software O-Pitsurface.	31
Figura 32 Parte integrante da equipe EMTS Brasil.	32
Figura 33 Operação e controle de drone.	33
Figura 34 Projeção 3D de bancada no software Metashape.	34
Figura 35 Operação do equipamento O-pitdev.	34
Figura 36 Relatório gerado do O-Pitsurface.	35
Figura 37 Participação da Blasting University.	36

LISTA DE SIGLAS

ANFO - Nitrato de Amônio/óleo Combustível

ANFO/AL - Nitrato de amônio com óleo combustível e alumínio

EMTS - Enaex Mining Technical Solutions

m - Metros

ms - Milissegundos

m/s - Metros por Segundo

PENT - Tetranitrato de Pentaeritrina

PSI – Pounds per Square Inch (Libras por Polegada Quadrada). Unidade de pressão.

TNT – Trinitrotolueno

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1. SEGURANÇA	9
2.2. PERFURAÇÃO	9
2.3. EXPLOSIVOS E ACESSÓRIOS	10
2.3.1. Explosivos	10
2.3.2. Iniciadores	12
2.3.3. Sistemas de Iniciação eletrônica	12
2.4. PLANO DE FOGO PARA DESMONTE A CÉU ABERTO	13
2.5. CURVA GRANULOMÉTRICA PARA ANÁLISE DE FRAGMENTAÇÃO	17
3. A EMPRESA ENAEX S.A.	19
3.1. HISTÓRIA	19
3.1.1. Enaex	19
3.1.2. Britanite	20
3.1.3. A Junção e formação da Enaex Brasil	21
3.2. FILIAIS.....	21
3.2.1. Localização das filiais em que a estagiária atuou	22
3.3. ÁREA DE ATUAÇÃO	24
3.3.1. Matérias-primas.....	24
3.3.2. Explosivos a granel	25
3.3.3. Emulsão Encartuchada	26
3.3.4. Sistemas de Iniciação.....	27
3.3.5. Sistemas de Iniciação Eletrônica (Davey Bickford)	28
3.3.6. Acessórios e Equipamentos para Otimização de Processos de Perfuração e Desmonte (MTi – O-Pitblast)	29
3.3.7. Serviços	31
4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO	32
4.1. TREINAMENTOS RECEBIDOS	32
4.2. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO E MODELAGEM 3D	33
4.3. ANÁLISE DA PERFURAÇÃO PLANEJADA E EXECUTADA UTILIZANDO EQUIPAMENTOS E SOFTWARES	34
4.4. PROJEÇÃO DA BANCADA 3D NO O-PITSURFACE.....	35
4.5. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA UTILIZANDO SOFTWARES	35
4.6. ORGANIZAÇÃO DE EVENTOS	36

5. CONCLUSÃO	37
6. REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

A engenharia de minas desempenha um papel fundamental no ciclo de descoberta, extração e processamento de minerais, empregando conhecimentos científicos e tecnológicos para otimizar a eficiência e a segurança das operações. Esse esforço contribui significativamente para o desenvolvimento econômico e social (GUIMARÃES et al., 2017).

A perfuração e o desmonte de rochas com explosivos são algumas das atividades realizadas pelos engenheiros de minas, e o estágio supervisionado nessa área exerce uma função essencial na formação e no aprimoramento desses estudantes. É nesse período que eles têm a oportunidade de colocar em prática conhecimentos teóricos, adquirir habilidades técnicas e desenvolver competências necessárias para a profissão.

Durante o estágio na área de desmonte de rochas com explosivos, os participantes têm a oportunidade de se familiarizar com uma variedade de explosivos utilizados na indústria de mineração e construção civil. Eles estudam detalhadamente as características, propriedades e aplicações apropriadas de cada explosivo, enquanto adquirem conhecimentos sobre fatores cruciais, como densidade, velocidade de detonação e os efeitos desejados no desmonte de rochas. Além disso, recebem instruções sobre os métodos de iniciação e os sistemas de segurança associados ao uso de explosivos, garantindo uma compreensão completa desses aspectos fundamentais.

Este relatório tem como objetivo descrever as atividades realizadas durante o estágio supervisionado na empresa Enaex, uma das líderes globais no setor de explosivos e serviços de fragmentação de rochas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste referencial, serão abordados conhecimentos teóricos relacionados ao desmonte de rochas com explosivos, uma técnica amplamente utilizada na indústria de mineração e na construção civil. O desmonte de rochas com explosivos é uma das principais etapas do processo de extração de rochas, visando à fragmentação controlada e eficiente do material rochoso. Este material possibilitará um melhor entendimento do que foi abordado durante o estágio supervisionado.

2.1. SEGURANÇA

A norma regulamentadora NR 19 estabelece diretrizes para a fabricação, armazenagem, transporte, comercialização, manuseio e utilização de explosivos. Ela aborda diversos aspectos relacionados à segurança, como os requisitos de infraestrutura, sinalização, equipamentos de proteção individual, procedimentos operacionais, treinamentos, prevenção de incêndios, entre outros.

É importante destacar que o cumprimento dos requisitos estabelecidos pela NR 19 é essencial para garantir a segurança dos trabalhadores e a conformidade com as regulamentações de segurança aplicáveis. Empresas que lidam com explosivos devem adotar as medidas necessárias para atender a as normas e promover um ambiente de trabalho seguro.

2.2. PERFURAÇÃO

A perfuração de maciços rochosos compreende a etapa inicial do ciclo de operações do desmonte de rochas. Para que o desmonte seja bem-sucedido, é fundamental realizar uma perfuração adequada para a inserção dos explosivos. Vários fatores influenciam a eficácia da perfuração e, conseqüentemente, um desmonte bem-sucedido, tais como, o tipo de rocha, a geometria e posição dos furos, a escolha dos explosivos e a sequência de detonação (ALMEIDA JUNIOR, 2024).

De acordo com Silva (2009), a perfuração pode ser realizada utilizando equipamentos pneumáticos, percussivos, rotativos, hidráulicos, etc. Sendo necessário garantir a retilinidade, estabilidade, profundidade e diâmetro adequados dos furos, independentemente do tipo de equipamento utilizado.

Esses aspectos desempenham uma importante função para assegurar a precisão do desmonte, resultando na fragmentação eficiente da rocha, reduzindo os custos operacionais e garantindo um ambiente de trabalho mais seguro. Na Figura 1 está ilustrada um exemplo de perfuratriz hidráulica utilizada na mineração.



Figura 1 Perfuratriz hidráulica.
Fonte: Acervo próprio.

2.3. EXPLOSIVOS E ACESSÓRIOS

2.3.1. Explosivos

OS Explosivos são materiais ou combinações, independentemente de seu estado físico, que sob a influência de uma fonte de energia térmica ou mecânica intensa (como calor, atrito ou impacto) se convertem, total ou parcialmente, em gases em um espaço de tempo muito breve, liberando uma quantidade significativa de energia térmica (JIMENO et al., 1987).

Segundo Silva (2009), os explosivos são classificados como altos explosivos, baixos explosivos e agentes detonantes, os quais serão descritos a seguir.

Os altos explosivos são caracterizados por possuírem altas velocidades de detonação (1.500 a 9.000 m/s) e taxas de pressão elevadas (50.000 a 4 milhões de psi). Eles são capazes de gerar uma reação poderosa e destrutiva. Alguns exemplos bem conhecidos de altos explosivos incluem a dinamite, o TNT (trinitrotolueno) e as gelatinas explosivas. Esses produtos são amplamente utilizados em aplicações industriais, como na construção civil e na mineração, onde a fragmentação controlada de rochas é necessária.

Por outro lado, os baixos explosivos, também conhecidos como deflagrantes, apresentam velocidades de detonação significativamente mais

baixas (poucos metros por segundo) e pressões de no máximo 50.000 de psi, em comparação aos altos explosivos. Isso significa que a reação ocorre de forma mais lenta e menos violenta. A Figura 2 ilustra a pólvora negra como um exemplo de baixo explosivo, sendo frequentemente utilizada em aplicações como fogos de artifício, onde uma reação menos explosiva é desejada.



Figura 2 Pólvora negra.
Fonte: Acervo Enaex.

Por fim, tem-se os agentes detonantes, que são misturas em que os ingredientes individuais não são considerados explosivos. Essas misturas podem incluir substâncias como ANFO (nitrato de amônio com óleo combustível), ANFO/AL (nitrato de amônio com óleo combustível e alumínio), lama explosiva, ANFO Pesado e emulsões explosivas. A Figura 3 ilustra exemplos de agentes detonantes, adaptados para atender a requisitos específicos de detonação, como densidade e velocidade de detonação controladas.



Figura 3 ANFO e Emulsão Explosiva.
Fonte: Acervo Enaex.

Essas classificações são importantes para compreender as características e propriedades dos diferentes tipos de explosivos, garantindo

seu uso seguro e eficaz em diversas aplicações, como mineração, construção civil e atividades militares.

2.3.2. Iniciadores

De acordo com Silva (2019), os iniciadores desempenham um papel fundamental nos processos de ativação dos explosivos, sendo responsáveis por dar início à reação química que resulta na detonação propriamente dita. Esses componentes, tais como espoletas, cordéis detonantes e boosters, são amplamente utilizados na indústria para assegurar a sincronização e o controle das detonações em atividades como mineração, construção e demolição. A Figura 4 exemplifica alguns desses iniciadores.



Figura 4 Estopins/espoletas, cordeis detonantes e boosters.
Fonte: Acervo Enaex.

É importante ressaltar que os iniciadores não possuem força suficiente para detonar diretamente a rocha ou o material que se deseja fragmentar. Sua função principal é fornecer uma fonte de energia inicial para que a reação química nos explosivos seja desencadeada. Por meio de uma rápida liberação de energia, os iniciadores geram um impulso que se propaga pelos explosivos, resultando na detonação (BERNARDO, 2004).

Os iniciadores são altamente sensíveis e respondem rapidamente a estímulos como calor, choque, fricção ou corrente elétrica. Essa sensibilidade é crucial para uma detonação controlada e precisa, minimizando a possibilidade de atrasos ou falhas na ignição. No entanto, devido a essa sensibilidade, os iniciadores devem ser manipulados com extrema precaução e conforme os regulamentos de segurança adequados (NETO, 2006).

2.3.3. Sistemas de Iniciação eletrônica

Os sistemas de iniciação eletrônica são avançados dispositivos utilizados para controlar e coordenar a detonação de explosivos de forma precisa e segura. Esses sistemas substituem os métodos tradicionais de

iniciação, como espoletas e estopins, oferecendo vantagens em termos de precisão, sincronização e segurança (PONTES e LIMA, 2016).

Compostos por iniciadores eletrônicos, cabos de conexão, unidades de controle e dispositivos de programação, esses mecanismos proporcionam pulsos elétricos precisos para iniciar a detonação dos explosivos remotamente. Permitem ainda a execução de detonações sequenciadas, garantindo desmontes controlados, evitando danos e otimizando a fragmentação. Além disso, oferecem maior segurança através do monitoramento contínuo, detecção de falhas e capacidade de interrupção da detonação, se necessário (COVRE, 2012). A Figura 5 exemplifica esses sistemas de iniciação eletrônica.



Figura 5 Iniciadores eletrônicos e unidades de controle com seus dispositivos de programação.
Fonte: Acervo Enaex.

2.4. PLANO DE FOGO PARA DESMONTE A CÉU ABERTO

De acordo com Lemos et al. (2022), o plano de fogo é um projeto executivo que engloba todas as etapas necessárias para o desmonte de rochas utilizando explosivos. Esse plano abrange a definição e apresentação preliminar de elementos como o plano de perfuração, o qual determina a localização e características dos furos a serem realizados; a qualificação e quantificação dos explosivos, que envolve a seleção adequada dos materiais explosivos a serem utilizados e os esquemas de ligação e iniciação, que estabelecem a sequência e a forma como os furos serão conectados e iniciados para obter a fragmentação desejada das rochas.

Esse planejamento detalhado é fundamental para garantir a eficiência, a segurança e a otimização do desmonte de rochas a céu aberto. Segundo

Silva (2009), a definição do plano de fogo, inclui inicialmente a escolha de uma malha, as quais podem ser descritas da seguinte maneira:

1. Malha quadrada ou retangular: Essa configuração possui uma geometria que facilita a perfuração, o que resulta em um menor tempo de deslocamento entre os furos. A Figura 6 representa as malhas descritas.

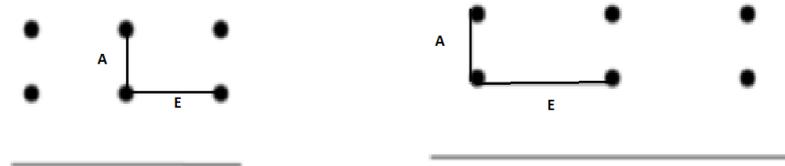


Figura 6 Representação das malhas quadrada e retangular.
Fonte: Silva (2009).

2. Malha estagiada (pé de galinha): Essa disposição implica em furos alternados, o que torna o processo de perfuração mais complexo e resulta em um aumento no tempo de deslocamento entre os furos. No entanto, essa configuração fornece uma distribuição mais eficiente do explosivo no maciço rochoso. A malha estagiada é ilustrada na Figura 7.



Figura 7 Representação da malha estagiada (pé de galinha).
Fonte: Silva (2009).

Para Geraldi (2011) e Silva (2009), as principais variáveis envolvidas em um plano de fogo para desmonte de rochas a céu aberto, podem ser representadas na Figura 8 e descritas da seguinte forma:

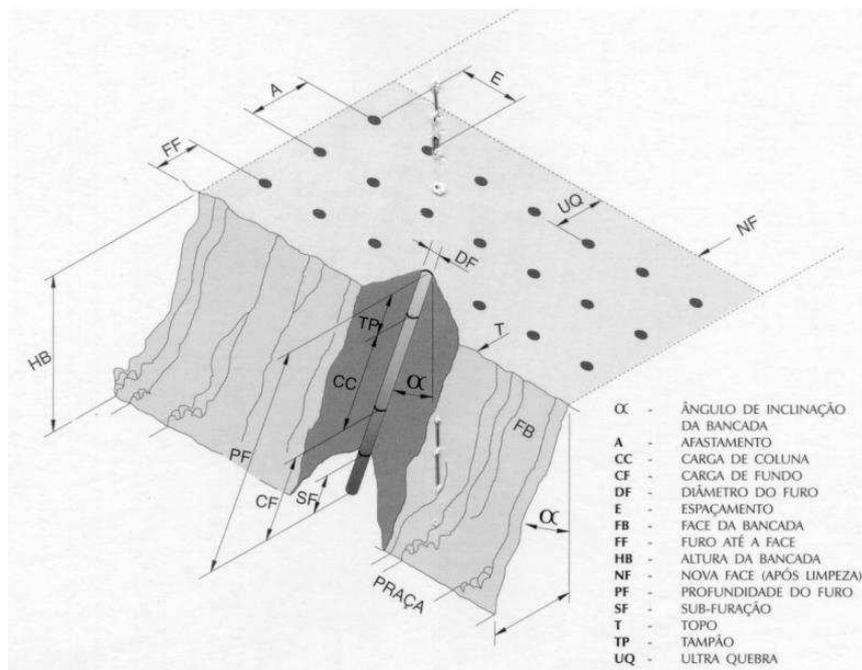


Figura 8 Variáveis do plano de fogo.
Fonte: Silva (2009).

- Bancada (B): Refere-se à configuração resultante das detonações sucessivas, que compreende a face da bancada (local onde ocorre a detonação), a praça (área entre a face e o topo da bancada) e o topo (parte superior da bancada).
- Altura da Bancada (HB): É a medida vertical da distância entre o topo da bancada e a praça. Essa variável influencia a fragmentação das rochas e a estabilidade da bancada.
- Afastamento (A): É a distância entre a face da bancada e a primeira linha de furos ou entre duas linhas de furos. O deslocamento afeta a distribuição de carga explosiva e a fragmentação das rochas.
- Espaçamento (E): Refere-se à distância entre os furos de uma mesma linha. O espaçamento desempenha um papel crucial na fragmentação desejada. Silva (2009) sugere que ele nunca deve ser menor que o afastamento, buscando evitar grandes blocos de rocha.

$$E = 2A \text{ (m)}$$

- Subperfuração (S): É o comprimento perfurado abaixo da praça da bancada. Essa subperfuração é necessária para evitar o engasgamento das rochas na base da bancada, o que poderia comprometer a fragmentação adequada.

$$S = 0,3A \text{ (m)}$$

- Profundidade do furo (HF): É o comprimento total perfurado, incluindo a inclinação do furo e a subperfuração. A fórmula proposta por Silva (2009) para o cálculo da profundidade do furo é: $HF = HB/\cos\alpha + (1 - \alpha/100) \times S$, onde α é o ângulo de inclinação do furo.

$$HF: \frac{HB}{\cos \alpha} + (1 - \frac{\alpha}{100}) \times S \text{ (m)}$$

- Tampão (T): É a parte superior do furo que não recebe carga explosiva. Geralmente, é preenchido com materiais inertes, como areia, brita ou outros materiais, com o objetivo de confinar os gases gerados pela explosão.

$$T = 0,7A \text{ (m)}$$

- Volume de rocha por furo (V): É a quantidade de rocha presente em cada furo e pode ser continuamente multiplicando a altura da bancada (HB) pelo afastamento (A) e pelo espaçamento (E).

$$V = HB \times A \times E \text{ (m}^3\text{)}$$

- Perfuração específica (PE): É a relação entre a quantidade de metros perfurados por furo e o volume de rocha por furo. Essa variável é útil para avaliar a eficiência do desmonte.

$$PE = \frac{HF}{V} \text{ (m)}$$

- Razão linear de carregamento (RL): Refere-se à quantidade de carga explosiva depositada no furo e é com base no diâmetro do explosivo (d_e) e na densidade do explosivo (ρ_e).

$$RL: \frac{\pi d_e^2}{4000} \times \rho_e$$

Onde:

d_e = diâmetro do explosivo (mm);
 ρ_e = densidade do explosivo (g/cm³)

- Altura da carga de fundo (HCF): É a altura da carga de explosivo colocada no fundo do furo, que tem como objetivo soltar as rochas confinadas nessa região.

$$HCF = 0,3 \times (HF - T) \text{ (m)}$$

- Altura da carga de coluna (HCC): É a porção de carga explosiva posicionada acima da carga de fundo e abaixo do iniciador. Essa carga não precisa ter uma alta concentração.

$$HCC = HF - HCF \text{ (m)}$$

- Carga total (CT): Refere-se à soma das cargas utilizadas em um furo, incluindo a carga de fundo e a carga de coluna.

$$CT = CF + CC \text{ (kg)}$$

- Razão de carregamento (RC): É a relação entre a carga total (CT) e o volume de rocha por furo (V), expressa em gramas por metro cúbico (g/m³).

$$RC = \frac{CT}{V} \text{ (g/m}^3\text{)}$$

Essas variáveis são fundamentais para o dimensionamento e o planejamento adequado do plano de fogo, garantindo resultados eficientes e seguros durante o desmonte de rochas a céu aberto.

2.5. CURVA GRANULOMÉTRICA PARA ANÁLISE DE FRAGMENTAÇÃO

A fragmentação de rochas resulta na formação de uma pilha de material desmontado, cuja granulometria é frequentemente avaliada para determinar a eficácia do processo de desmonte. Softwares como WipFrag, FragScan, GoldSize, Portametrics e SplitDesktop foram desenvolvidos para analisar a granulometria da pilha desmontada, permitindo uma visualização tridimensional e uma análise precisa dos fragmentos (BRAGA, 2018).

Para realizar a análise granulométrica utilizando essas ferramentas digitais, é necessária a adoção de um ponto de referência de tamanho conhecido à título de comparação, como por exemplo, esferas. Ao delimitar o contorno dos blocos e compará-lo com esse ponto de referência, é possível formar a curva granulométrica. Isso permite avaliar a eficiência do desmonte e planejar novos parâmetros conforme necessário (ALMEIDA JUNIOR, 2024). As Figuras 9 e 10 exemplificam respectivamente, as imagens dos fragmentos com as esferas antes e depois de analisadas, assim como a curva granulométrica resultante.



Figura 9 Fragmentos com esferas antes e depois de analisadas no software WipFrag.
Fonte: Acervo próprio.

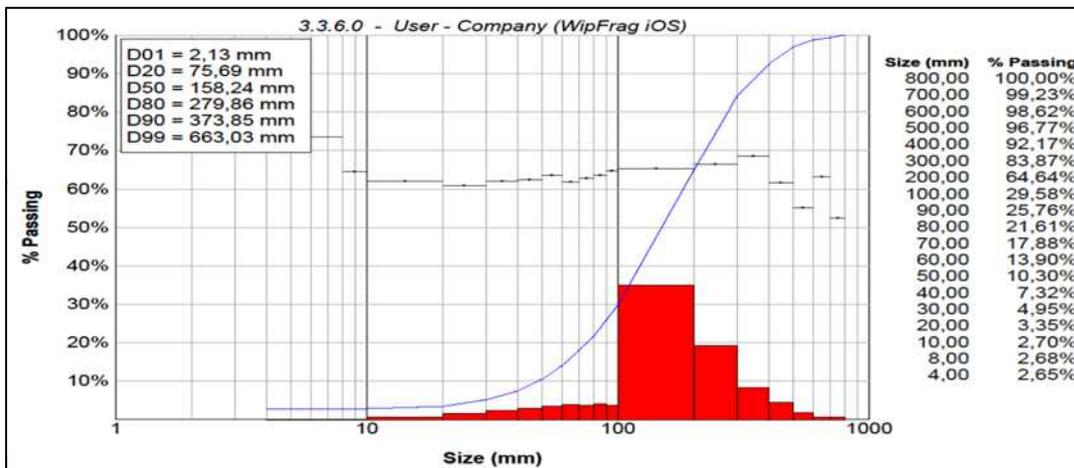


Figura 10 Curva granulométrica gerada pelo Wipfrag.
Fonte: Acervo próprio.

3. A EMPRESA ENAEX S.A.

3.1. HISTÓRIA

Este tópico aborda uma breve introdução à cerca da história e fundação da empresa, baseado em Enaex (2024).

3.1.1. Enaex

A história da Enaex começou em novembro de 1920, há mais de 100 anos, com a fundação da Companhia de Explosivos de Chile (Companhia de Explosivos do Chile), onde foi concedida a primeira instalação fabril de explosivos da empresa, situada no Río Loa, a 15 km do centro de Calama, cidade da região de Antofagasta, no Chile. A Figura 11 apresenta a fábrica da Enaex no ano de 1920.



Figura 11 Instalação fabril da Enaex em 1920.
Fonte: Acervo Enaex.

A companhia expandiu-se e passou por transformações, desenvolvendo novos produtos. Em 1964, começou a produzir boosters e tetranitrato de pentaeritritol, conhecido como nitropenta - PETN. Em 1972, o governo chileno assumiu o controle total da empresa e a renomeou para Empresa Nacional de Explosivos - ENAEX.

Em 1974, a Enaex desenvolveu seu primeiro caminhão fábrica, conforme a Figura 12, que permite fazer uma mistura explosiva e aplicá-la diretamente nos furos.



Figura 12 Primeiro caminhão fábrica da empresa.
Fonte: Acervo Enaex.

Em 1983, começou a fabricação de ácido nítrico e nitrato de amônio, com capacidade para produção de 100 mil toneladas anuais. A planta intitulada Prillex América, fica localizada em Mejillones no Chile.

Com sua privatização em 1989, a empresa se tornou ENAEX S.A, como é conhecida nos dias atuais. Em 1993, a Sigdo Koppers adquiriu 50,01% de controle da Enaex, consolidando-se como um dos principais fornecedores de produtos e serviços para a mineração e indústria. Com investimentos contínuos ao longo dos anos, a planta Prillex América tornou-se, em 2011, o maior complexo de produção de nitrato de amônio de grau explosivo do mundo, com uma capacidade anual de 850 mil toneladas.

3.1.2. Britanite

Paralelamente ao crescimento da Enaex no Chile, em 1961, uma empresa intitulada Britanite fundou uma fábrica de explosivos em Curitiba/PR, que posteriormente em 1969, foi adquirida pela construtora CR Almeida. A Britanite foi fundamental para o serviço e fornecimento de explosivos para mais de 40 obras em andamento naquele momento, como a construção da usina hidrelétrica Itaipu e da Rodovia dos Imigrantes.

3.1.3. A Junção e formação da Enaex Brasil

Em 2015, a Enaex começou sua expansão global e adquire 100% da Britanite e da companhia francesa Davey Bickford, cuja qual, é uma importante empresa responsável pela produção de sistemas de iniciação eletrônica.

No início de 2023, a corporação adquiriu 100% do grupo australiano MTi, e parte das ações da O-Pitblast, importantes empresas relacionadas a otimização do processo de fragmentação de rochas.

Hoje, a Enaex é uma corporação consolidada no mercado e de forte presença global, sendo ela uma das maiores produtoras de nitrato de amônio do mundo, a principal substância para fabricação de explosivos. Além disso, a empresa é uma importante prestadora de serviços de fragmentação de rochas para a indústria da mineração.

3.2. FILIAIS

A Enaex conta com mais de 5 mil colaboradores oriundos de diversas nacionalidades como mostrado na Figura 13, possuindo uma posição financeira estável. A empresa faz parte do grupo chileno Sigdo Koppers, a qual fornece produtos e serviços para operações industriais e de mineração.



Figura 13 Filiais mundiais onde a empresa atua.
Fonte: Acervo Enaex.

No Brasil, a Enaex conta com uma equipe de mais de 1.500 colaboradores, tendo sua sede situada em Quatro Barras/PR, porém, sua atuação se estende por diversos estados do país. A empresa mantém

parcerias com clientes de grande relevância no mercado nacional, tais como Vale, Anglo American, Lundin Mining, Ero Caraíba, Intercement, Votorantim, CSN, entre outros. A Figura 14 ilustra os estados brasileiros que a Enaex opera.



Figura 14 Filiais no Brasil.
Fonte: Acervo Enaex.

3.2.1. Localização das filiais em que a estagiária atuou

Durante o estágio, os trabalhos foram desenvolvidos nas filiais do Centro de Distribuição (CD) em Caieiras/SP, na Unidade de Serviço (US) Atlantic Nickel, localizada no município de Itagibá/BA e também no Centro de Distribuição de Escada/PE, conforme destacado na Figura 14. Foram realizadas atividades presenciais nas filiais e em clientes de suas respectivas localidades.

Em São Paulo, a filial está alocada na Via Acesso Norte km 33, S/N km 30, no bairro Calcárea, a 16,8 km de distância da cidade de Caieiras, região metropolitana da capital Paulista. Neste CD, foram realizadas a maior parte das atividades. A Figura 15 representa a localização da unidade referida.



Figura 15 Mapa de localização da Enaex São Paulo.
Fonte: Google Earth, 2024.

Na Bahia, as atividades foram desenvolvidas na US Atlantic Nickel, alocada dentro da mineração Atlantic Nickel, na Fazenda Santa Rita, S/N a 32 km do município de Itagibá/BA, que fica a 370 km da capital Baiana conforme ilustrado na Figura 16.

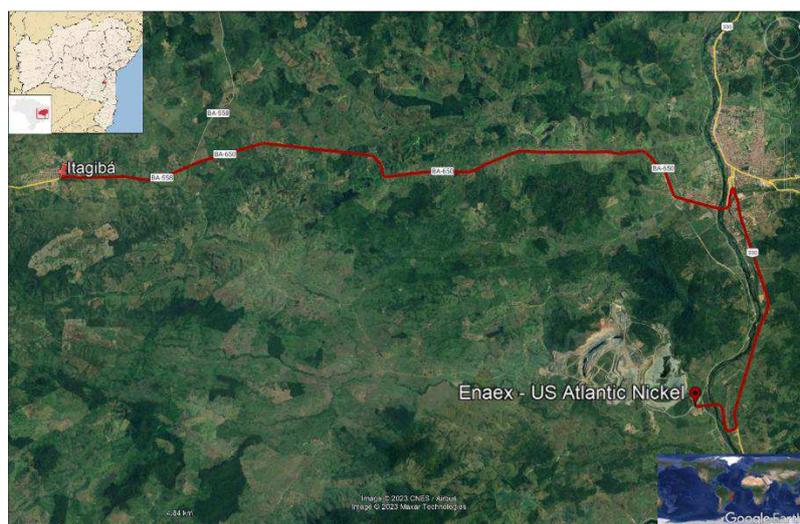


Figura 16 Mapa de localização da US Atlantic Nickel.
Fonte: Google Earth, 2024.

No Pernambuco, o Centro de Distribuição da Enaex, está localizado no Sítio Bela Vista, S/N, no Engenho Cafundó, a cerca de 17 km do município de Escada e a 60 km da capital Recife/PE (Figura 17).

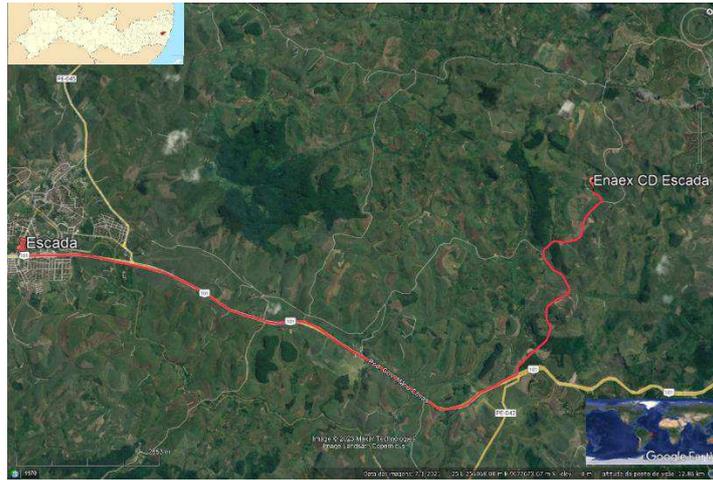


Figura 17 Mapa de localização da Enaex Pernambuco.
Fonte: Google Earth, 2024.

3.3. ÁREA DE ATUAÇÃO

A Enaex é uma empresa especializada na fabricação e comercialização de explosivos, sendo esse o seu principal produto. No entanto, a empresa também oferece uma ampla gama de produtos e serviços relacionados à indústria de mineração. Isso inclui a produção de ácido nítrico e nitrato de amônio, sistemas de iniciação eletrônica, equipamentos de otimização de desmonte, além de serviços especializados para o setor.

Serão apresentados a seguir alguns dos principais produtos fabricados, comercializados e os serviços prestados pela Enaex:

3.3.1. Matérias-primas

- Ácido Nítrico 60% (Figura 18): Fabricado na Planta Prillex América, obtido através de uma reação de amoníaco anidro com o oxigênio do ar na presença de catalizadores a base de platina, é apresentado em 60% porque sua síntese gera água. Esse produto é utilizado para produção de muitos derivados, principalmente para fertilizantes nitrogenados e na fabricação de explosivos.



Figura 18 Ácido Nítrico 60%.
Fonte: Acervo Enaex.

- Prillex (Figura 19): Nitrato de amônio poroso. Forma específica de nitrato de amônio que apresenta porosidade em sua estrutura, o que facilita a absorção de líquidos e o processo de emulsificação. Essas características tornam o Prillex um componente essencial na formulação de emulsões explosivas, que são amplamente utilizadas em diversas indústrias, como a mineração, construção civil e demolições controladas.



Figura 19 Prillex.
Fonte: Acervo Enaex.

3.3.2. Explosivos a granel

- Anfomax (Figura 20): Fabricado com nitrato de amônio de grau explosivo e óleo diesel, tem baixa sensibilidade a iniciação, garantindo uma alta segurança para seu transporte, manuseio e aplicação. Utilizado em minas a céu aberto, pedreiras e obras civis.



Figura 20 Anfomax.
Fonte: Acervo Enaex.

- Ibemux (Figura 21): Explosivo de alta velocidade com elevada energia e resistência a água. É um produto bombeado de forma mecanizado com equipamentos móveis. Recomendado para todos os tipos de rochas.



Figura 21 Ibemux.
Fonte: Acervo Enaex.

3.3.3. Emulsão Encartuchada

- Ibegel (Figura 22): Emulsão encartuchada em filmes plásticos de tamanhos variados de diâmetros e comprimentos, possui resistência à água podendo inclusive, também ser aplicado em desmontes subaquáticos, além de ter grande potência na detonação.



Figura 22 Emulsão encartuchada.
Fonte: Acervo Enaex.

- X-Booster (Figura 23): São cargas explosivas de elevada potência, postos em material cilíndrico plástico e utilizados para iniciação de agentes explosivos como ANFO e emulsões a granel.



Figura 23 Booster.
Fonte: Acervo Enaex.

3.3.4. Sistemas de Iniciação

- Britapim (Figura 24): Conjunto de estopim e espoleta usado para iniciação de detonação de acessórios ou cargas explosivas.



Figura 24 Britapim.
Fonte: Acervo Enaex.

- Britacord (Figura 25): Cordel detonante que possibilita o acionamento eficaz de várias cargas explosivas em uma única detonação.



Figura 25 Britacord.
Fonte: Acervo Enaex.

- Brinel (Figura 26): Família de iniciadores não elétricos e detonadores com retardo contendo diferentes temporizações, o que permite realizar uma sequência de disparo que otimizam os resultados da detonação.



Figura 26 Brinel.
Fonte: Acervo Enaex.

3.3.5. Sistemas de Iniciação Eletrônica (Davey Bickford)

- Daveytronic OP/OPW/SP/UG (Figura 27): Conjuntos de equipamentos que permitem a iniciação dos detonadores eletrônicos, podendo ser acionados via cabo ou remotamente, permitindo uma maior segurança e controle de vibração e redução de danos a escavações adjacentes.



Figura 27 Sistemas de Iniciação eletrônica Deveytronic.
Fonte: Acervo Enaex.

3.3.6. Acessórios e Equipamentos para Otimização de Processos de Perfuração e Desmorte (MTi – O-Pitblast)

- Blastbag (Figura 28): Consiste em uma bolsa auto inflável com alta resistência à pressão e tração, e foi desenvolvida para gerar airdecks em perfurações para desmorte;



Figura 28 Blastbag.
Fonte: Acervo Enaex.

- Rock Rivet (Figura 29): é uma tampa mecânica inovadora projetada para furos de até 230mm (9”), com diferentes opções de tamanho disponíveis. Seu design é baseado em uma pinça que se fixa na parede dos furos, proporcionando um isolamento completo entre a carga explosiva e o tampão. Isso garante que o material explosivo não seja contaminado com o material de tampão, resultando em uma maior segurança e eficiência no processo de desmorte de rochas.



Figura 29 Rock Rivet.
Fonte: Acervo Enaex.

- O-Pitdev (Figura 30): Equipamento à prova d'água que permite medir desvios de furos de perfuração, podendo fazer uma análise detalhada do que foi planejado ao que foi executado;



Figura 30 O-Pitdev.
Fonte: Acervo Enaex.

- O-Pitsurface (Figura 31): Software completo para projeção e planejamento das operações de perfuração e desmonte de mineração a céu aberto.



Figura 31 Interface do software O-Pitsurface.
Fonte: O-Pitblast.

3.3.7. Serviços

- **Desmonte de Rochas:** A Enaex oferece serviços completos para o desmonte de rochas, abrangendo diversas atividades essenciais. Isso inclui serviços de escorva, carregamento utilizando caminhões-fábrica, tamponamento, amarração e iniciação do disparo, entre outros. A empresa possui experiência e conhecimento técnico para executar essas etapas de forma eficiente e segura, visando atender às necessidades específicas dos projetos de desmonte de rochas.
- **Enaex Mining Technical Solutions (EMTS):** É composto por engenheiros e técnicos de mineração de diversos países, especializados nos diversos segmentos de desmonte de rochas, como mineração a céu aberto, mineração subterrânea, agregados, construção civil e projetos especiais. Com um enfoque voltado para o desenvolvimento dos negócios dos clientes, o EMTS oferece soluções customizadas que visam otimizar custos, produtividade, flexibilidade e rentabilidade. Essas soluções abrangem desde o plano de fogo e soluções técnicas até a aplicação prática em campo. A Figura 32 apresenta parte da equipe EMTS do período de 2022.



Figura 32 Parte integrante da equipe EMTS Brasil.
Fonte: Acervo Enaex.

4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO

Durante o estágio supervisionado junto a equipe do EMTS, foram desenvolvidas diversas atividades relacionadas ao desmonte de rochas nas unidades das quais a estagiária frequentou, além de trabalhos remotamente realizados para diferentes casos e clientes.

4.1. TREINAMENTOS RECEBIDOS

A estagiária participou de cursos teóricos e práticos para que pudesse desenvolver os trabalhos posteriormente, dentre eles estão:

- Curso de Blaster: Trata-se de um treinamento de segurança e manuseio de explosivos para a atuação do profissional na prática.
- Curso do O-Pitsurface: O curso é importante para projetar e planejar operações de mineração a céu aberto, permitindo que sejam lançados dados topográficos, tipos de explosivos e acessórios, além de ser possível programar a temporização de retardos. O software permite ainda fazer a projeção de furos planejados e reais, e fornecer uma previsão da vibração, possibilitando o gerenciamento de grande parte dos dados resultantes do desmonte.
- Treinamentos diversos: Foram realizados treinamentos como o levantamento topográfico utilizando drones para o modelamento 3D no software Metashape; Análise de perfuração planejada e executada

utilizando o O-Pitdev; e Análise da fragmentação de desmonte utilizando softwares como Split Desktop, Wipfrag e o Portametrics.

4.2. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO E MODELAGEM 3D

Foram realizados levantamentos topográficos utilizando Veículos Aéreos Não Tribulados (VANT), também chamados de Drones. Esses equipamentos têm sido amplamente utilizados por possuir maior agilidade no processo de captação de imagens e possibilitarem o levantamento de áreas extensas. A Figura 33 apresenta a estagiária realizando a operação com drone.

Por meio dos dados de fotogrametria obtidos com o equipamento, é possível processar as imagens utilizando o software Agisoft Metashape e construir tridimensionalmente o ambiente.



Figura 33 Operação e controle de drone.
Fonte: Acervo próprio.

Foram desenvolvidos projetos de modelagem 3D conforme ilustrado na Figura 34, nos clientes das unidades do CD São Paulo e do CD Escada, em que puderam ser levantados dados para posterior análise das dimensões das bancadas e posições dos furos de perfuração com suas devidas coordenadas.

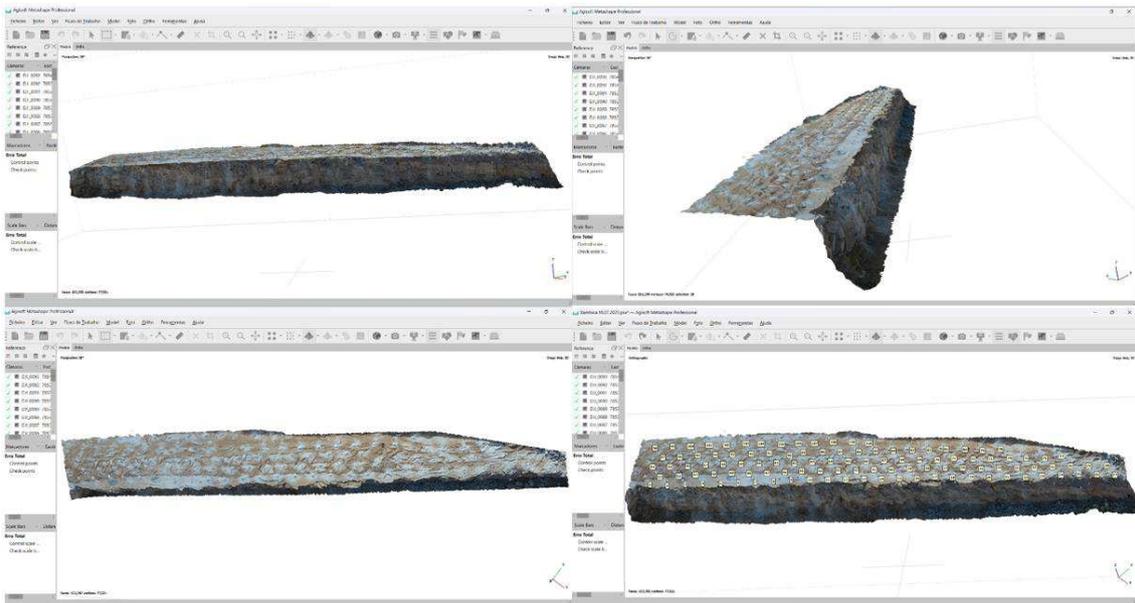


Figura 34 Projeção 3D de bancada no software Metashape.
Fonte: Acervo próprio.

4.3. ANÁLISE DA PERFURAÇÃO PLANEJADA E EXECUTADA UTILIZANDO EQUIPAMENTOS E SOFTWARES

Buscando otimizar o desmonte de rochas, a estagiária conduziu análises detalhadas do perfilhamento das bancadas utilizando o equipamento O-Pitdev (Figura 35). Este equipamento fornece informações como a profundidade dos furos, inclinação, azimute, afastamento e espaçamento, as quais são essenciais para auxiliar o técnico responsável na correção do plano de fogo.



Figura 35 Operação do equipamento O-pitdev.
Fonte: Acervo próprio.

4.4. PROJEÇÃO DA BANCADA 3D NO O-PITSURFACE

Após a coleta de dados com o equipamento O-Pitdev, as informações foram inseridas no software O-Pitsurface para uma análise comparativa entre o planejado e o real. O processamento desses dados pelo software permite a geração de um modelo tridimensional dos furos na bancada.

Com a utilização combinada do O-Pitdev e do O-Pitsurface, é possível obter um conhecimento mais preciso da condição de cada furo, o que permite uma análise detalhada do plano de fogo e do carregamento proposto, possibilitando um controle mais efetivo da razão de carga de cada furo.

O relatório final gerado pelo O-Pitsurface, como exemplificado na Figura 36, permite identificar áreas com problemas, em que o carregamento deve ser mais cauteloso devido ao risco de projeção de materiais. Dessa forma, o uso do equipamento proporciona uma maior segurança e controle no processo de desmonte de rochas.

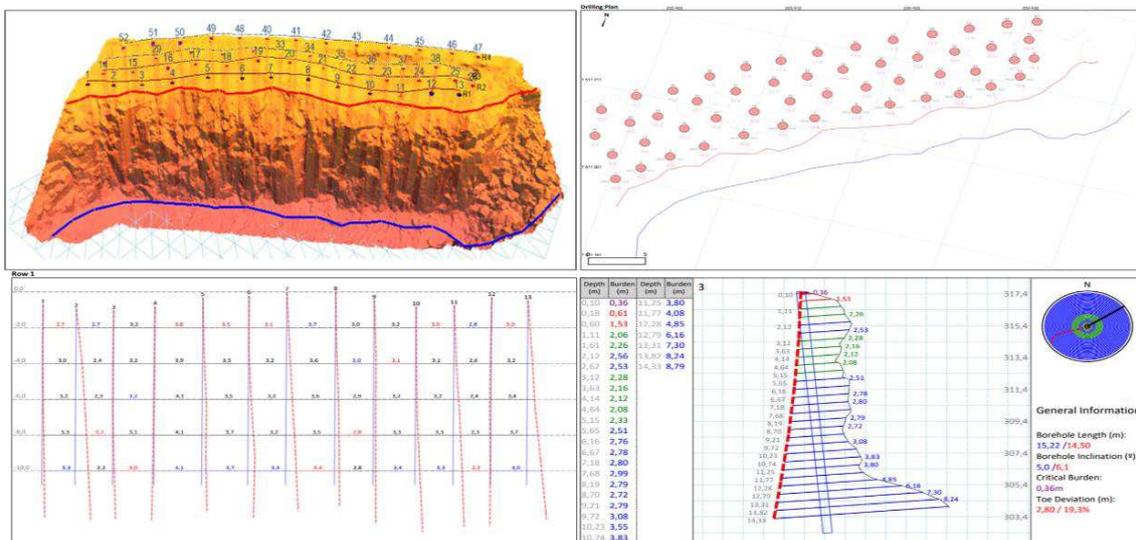


Figura 36 Relatório gerado do O-Pitsurface.
Fonte: Acervo próprio.

4.5. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA UTILIZANDO SOFTWARES

Para analisar as pilhas de materiais desmontados, foram utilizados softwares de análise granulométrica, como o SplitDesktop, Portametrics e WipFrag. Esses programas permitem a avaliação detalhada da distribuição dos fragmentos de rocha em diferentes tamanhos, por meio da geração de curvas de distribuição. Essas curvas oferecem insights valiosos sobre a fragmentação das rochas e auxiliam na otimização dos processos de desmonte e britagem, o

que é essencial para entender a eficácia do processo e fazer ajustes necessários.

Com os dados resultante, os engenheiros podem identificar áreas onde a fragmentação não atende aos padrões desejados, o que indica a necessidade de ajustar os parâmetros do plano de fogo ou adotar técnicas de detonação diferentes para melhorar a fragmentação.

Na indústria mineradora, compreender a distribuição granulométrica dos materiais desmontados é essencial para assegurar que o minério extraído cumpra as exigências da planta de processamento. Uma distribuição granulométrica inadequada pode prejudicar a eficácia das etapas de britagem e moagem, acarretando custos extras e redução da produtividade.

4.6. ORGANIZAÇÃO DE EVENTOS

A Blasting University (B.U.), consiste em um evento realizado pela Enaex em diversos lugares do mundo, cujo objetivo é fornecer conhecimentos teóricos e práticos na área de detonação explosiva e fragmentação de rochas.

Durante os eventos, são abordados assuntos que tratam principalmente sobre a segurança no manuseio dos explosivos com demonstrações e métodos corretos, além de apresentar tecnologias para otimização do desmonte de rochas.

A estagiária participou ativamente da organização desse evento, o qual ocorreu na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI – USP), durante os dias 30 e 31 de maio de 2023 (Figura 37).



Figura 37 Participação da Blasting University.
Fonte: Acervo próprio.

5. CONCLUSÃO

Em conclusão, o estágio supervisionado junto à equipe do EMTS foi uma experiência abrangente e essencial para meu desenvolvimento técnico na área de desmonte de rochas. Participar de diversos treinamentos teóricos e práticos, como os cursos de Blaster e O-Pitsurface, além de realizar atividades operacionais com tecnologias avançadas, como drones e softwares de modelagem 3D, foi fundamental para o aprimoramento de minhas competências e habilidades técnicas.

A integração de tecnologias, como o levantamento topográfico com drones e a análise da perfuração utilizando O-Pitdev e O-Pitsurface, permitiu-me criar planos de desmonte mais precisos e seguros, otimizando as operações e reduzindo os riscos associados. A análise granulométrica com softwares especializados, como SplitDesktop, Portametrics e WipFrag, forneceu dados significativos para avaliar a eficiência dos desmontes e tomar decisões informadas visando a melhoria contínua dos processos.

Minha participação na organização da Blasting University demonstrou meu comprometimento com a disseminação de conhecimentos e práticas seguras no setor, contribuindo para o desenvolvimento profissional dos participantes e reforçando a importância da educação contínua na área de mineração.

Assim, este estágio não apenas consolidou os conhecimentos adquiridos ao longo da minha formação acadêmica, mas também me preparou para enfrentar os desafios reais da profissão. Evidenciou-se, portanto, a importância de uma formação prática robusta aliada a uma sólida base teórica para o sucesso na engenharia de minas.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA JUNIOR, A. R. Otimização de planos de fogo de pegmatitos litiníferos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Engenharia de Minas, Ouro Preto, MG, 2024.

BERNADO, P. A. M. Impactos ambientais do uso de explosivos na escavação de rochas, com ênfase nas Vibrações. 385f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2004.

BRAGA, N. Y. Análise da fragmentação de gnaiss no desmonte com explosivos por métodos analíticos e uso de imagens. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Engenharia de Minas, Campus, Ouro Preto, MG, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 19 - Explosivos. Brasília: MTE, 1978.

COVRE, R. F. Aplicação da espoleta eletrônica. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas e Meio Ambiente) - Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Marabá, 2012.

ENAEX. Explosivos. Disponível em: <<https://www.enaex.com/br/us>>. Acesso em: 04 de março de 2024.

GERALDI, L. P. ABC das escavações de rocha. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

GUIMARÃES, L. B. Et al. Engenharia de minas: contexto atual e perspectivas. In: congresso brasileiro de engenharia de minas, 2017.

JIMENO, E. L.; JIMENO, C. L.; LLERA, J. M. P.; URBINA, F.P. O. Manual de Perforación y Voladura de Rocas. Série Geotécnica, Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 1987.

LE MOS, V. F., SIMBE, M. P. T., GEMUSSE, U. G. O., & VITORINO, E. D. (2022). Análise do plano de fogo da mineradora Promac LDA, com vista a otimização do desmonte de rocha e aumento da produtividade. In J. F. Silva Gomes et al. (Eds.), Proceedings CLME2022/VICEM - 9º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / VI Congresso de Engenharia de Moçambique (pp. [541]-[542]).

NETO, T, L, A. Problemas gerados pela extração de rochas e propostas para mitigação do impacto sonoro. 2006. 200f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Mecânica)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

PONTES, J. C.; LIMA, V. L. A. Uso de espoleta eletrônica para otimização do desmonte de rochas com explosivos e mitigação de impactos de vizinhança. In: Recursos Naturais: questões socioeconômicas e políticas do Rio Grande do Norte. Natal: IFRN, 2016. p. 62-73.

SILVA, V. C. Curso de Min 210 – Operações Mineiras. Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

SILVA, V. C. Estudo e caracterização dos explosivos comerciais. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.