



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



GABRIEL ALVES PIUZANA BARBOSA

**Estudo da perfuração e desmonte de rochas:
desafios e medidas de segurança**

Ouro Preto

2023

GABRIEL ALVES PIUZANA BARBOSA

**Estudo da perfuração e desmonte de rochas:
desafios e medidas de segurança**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Federal de Ouro Preto e seu Departamento de Engenharia de Minas como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz

Ouro Preto

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B238e Barbosa, Gabriel Alves Piuzana.

Estudo da perfuração e desmonte de rochas [manuscrito]: desafios e medidas de segurança. / Gabriel Alves Piuzana Barbosa. - 2023. 49 f.

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. Perfuração (Minas). 3. Sismologia - Sismógrafo. 4. Segurança de minas. 5. Explosivos. 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

Gabriel Alves Piuzana Barbosa

Estudo de Perfuração e Desmonte de rochas desafios e medidas de segurança

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 03 de Abril de 2023

Membros da banca

Dr. - Carlos Enrique Arroyo Ortiz - Orientador(a) Universidad Federal de Ouro Preto
Eng - Pedro Henrique Lopes de Carvalho - Universidade Federal de Ouro Preto
Eng - Jorhs Enrique Casimiro Huayhua - DNA Blast

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 05/04/2023



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Enrique Arroyo Ortiz, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/04/2023, às 21:25, 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, informando o código verificador **0505344** e o código CRC **5EFB83C7**.

RESUMO

O estudo do desmonte de rochas com explosivos é determinado pelas etapas antes da detonação com explosivos para que a atividade tenha sucesso em seus objetivos industriais, sociais e ambientais. A caracterização do maciço rochoso é a primeira etapa que se dá início para conhecimentos da rocha que irá trabalhar, em seguida as etapas de determinação de malha para pedreira, perfuração de rocha e a escolha do explosivo industrial sendo essas etapas fazendo parte dos parâmetros necessários para construção do plano de fogo. O desmonte ao ser executado é necessário o uso de sismógrafo quando se tem construções próximas como por exemplo uma barragem, portanto se faz necessário o monitoramento das vibrações causadas pelos explosivos detonados. A legislação a respeito dos explosivos possui normas a serem seguidas pelo blaster, pelo comprador, fabricante e quem transporta.

Palavras-chave: explosivos; plano de fogo; sismógrafo; desmonte.

ABSTRACT

The rock blasting with explosives study is determined by steps before blasting, looking forward the activity success in industrial, social and environmental goals. The rock mass description is the first step to know the work object, following the explosive choice, the mesh definition and drilling. These steps are part of necessary parameters to build a blast plan for the mine. It is necessary using the seismograph during the blasting when there are facilities such as dams close to the production area. Therefore, is required the vibrations monitoring caused by blasting with explosives. The Brazilian explosives legislations have norms to be followed by stakeholders, as blasters, buyers, producers and the transporters.

Key-words: explosives; blast plan; seismograph; blasting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ligação sequencial para duas filas de furos.....	16
Figura 2 - Ligação com direcionamento lateral do lançamento da pilha.....	16
Figura 3 - Ligação com linhas paralelas de furos à frente da bancada.....	17
Figura 4 - Ligação sequencial com retardos a cada furo.....	17
Figura 5 - Ligação de furos em cunhas.....	18
Figura 6 - Esquematização da classificação dos detonantes.....	20
Figura 7 - Malha de Perfuração.....	28
Figura 8 - Perfuratriz e compressor.....	30
Figura 9 - Água de chuva preenchendo os furos.....	31
Figura 10 - Emulsão encartuchada.....	32
Figura 11 - Estopim.....	33
Figura 12 - Espoleta não detonada e detonada.....	33
Figura 13 - Cordel detonante.....	34
Figura 14 - Brinel não elétrico.....	35
Figura 15 - Brinel não elétrico.....	35
Figura 16 - Frente de detonação.....	36
Figura 17 - Retroescavadeira grande.....	37
Figura 18 - Engesol Indústria e Mineração.....	38
Figura 19 – Barragem.....	39
Figura 20 - Desmonte no distrito de Lavras Novas.....	40
Figura 21 - Desmonte de uma rocha.....	41
Figura 22 – Sismógrafo.....	42
Figura 23 – Sismógrafo.....	42
Figura 24 - Resultados do sismógrafo.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo da carga explosiva.....	29
--	----

Sumário

RESUMO	2
ABSTRACT	3
LISTA DE FIGURAS.....	4
LISTA DE TABELAS	5
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVO.....	9
2.1 Objetivo geral.....	9
2.2 Objetivos específicos.....	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1. Caracterização do maciço rochoso.....	10
3.1.1. Classificação.....	10
3.1.2. Caracterização Tecnológica	12
3.2. Perfuração de Rochas	14
3.3. Malhas para Pedreiras	15
3.4. Explosivos Industriais	19
3.5. Sismografia	21
3.6. Barragens	21
4. METODOLOGIA.....	23
4.1. Levantamento de dados para Pedreira.....	23
4.3. Execução do Plano de Fogo.....	26
4.3.1. Desmote Primário	26
4.3.2. Desmote Secundário, Fogachos e Repés.....	26
4.4. Monitoramento Sismográfico	26
5. ESTUDO DE CASO.....	27

5.1. Planejamento do Plano de Fogo.....	27
5.2. Perfuração utilizando perfuratriz	30
5.3. Desmonte de Rochas utilizando explosivos	31
5.4. Análise do Sismógrafo na Represa do Custódio.....	41
6. LEGISLAÇÃO DO COMÉRCIO, TRANSPORTE, MANUSEIO E DETONAÇÃO DOS EXPLOSIVOS	44
7. CONCLUSÕES	46
8. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

O desmonte de rochas compreende etapas que precisam ser seguidas em ordem para que se torne possível e de forma a conseguir resultados dentro do esperado, portanto a primeira etapa é o planejamento do plano de fogo. Em seguida é realizado de forma antecipada a perfuração dos furos seguindo a orientações da malha de perfuração para que os tipos de explosivos e a quantidade pré-determinada seja atendida.

O trabalho do blaster é o encarregado do fogo na qual seu serviço está desempenhado para carregamento dos furos com explosivos, utilizar corretamente o brinel, a espoleta, o estopim entre outros equipamentos previamente definidos no plano de fogo e executar a detonação (Britanite, 2015). Desta forma, encerrando as etapas do desmonte de rochas com explosivos.

A descrição das atividades do estudo de caso será sobre os serviços desempenhados pela empresa Ouro Preto Comércio e Serviços Minerários localizada no município de Dom Silvério no estado de Minas Gerais para desmonte de rocha em diferentes cidades descritas a seguir.

O estudo descreve atividades especializadas pela empresa para dois clientes em diferentes locais: Engesol Indústria e Mineração no município de Carandaí-Mg e a Fronter Engenharia de Obras Eireli no distrito Lavras Novas do município de Ouro Preto-MG.

O detalhamento sobre as atividades de perfuração e desmonte utilizando de explosivos é o foco deste documento na qual foram serviços acompanhados e executados de forma supervisionada por profissionais qualificados.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste documento é um estudo do desmonte controlado em pedreiras urbanas.

2.2 Objetivos específicos

- a) Estudo das etapas do desmonte de rochas a céu aberto;
- b) uso de sismografia para controle de vibrações do solo assegurando a proteção de construções e barragens.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Caracterização do maciço rochoso

3.1.1. Classificação

Os três grupos gerais que as rochas podem ser classificadas são: sedimentar, ígnea e metamórfica.

As rochas sedimentares “são rochas que se formam na superfície da crosta terrestre sob temperaturas e pressões relativamente baixas, pela desagregação de rochas pré-existentes seguida de transporte e de deposição dos detritos ou, menos comumente, por acumulação química. Conforme a natureza desse material podem ser detríticas ou não detríticas. Possuem porosidade e permeabilidade, uma marcante estratificação e baixa resistência mecânica. São muito difíceis de polir e podem conter fósseis. As camadas de rochas sedimentares podem totalizar vários quilômetros de espessura” (CPRM, 2023).

“Sabe se que as rochas se fundem nas partes profundas da crosta e do manto terrestre e ascendem até a superfície. Alguns desses magmas solidificam-se antes mesmo de alcançar a superfície, enquanto outros abrem caminho até ela, onde, então, extravasam e se solidificam. Ambos os processos produzem rochas ígneas” (Press, 1999).

O estudo de caso contido neste trabalho de conclusão de curso foi feito a partir da rocha gnaisse e conhecida popularmente como brita após o processo de beneficiamento, portanto serão mostradas suas características começando por ser uma rocha metamórfica.

“As rochas metamórficas têm seu nome derivado da palavras grega que significam "mudança" (meta) e "forma" (morphe). Essas rochas são produzidas quando as altas temperaturas e pressões das profundezas da Terra atuam em qualquer tipo de rocha - ígnea, sedimentar ou outra rocha metamórfica - para mudar sua mineralogia, textura ou composição química - embora mantendo sua forma sólida. As temperaturas do metamorfismo estão abaixo do ponto de fusão das rochas (aproximadamente 700°C), mas são altas o bastante (acima de 250°C) para as rochas modificarem-se por recristalização e por reações químicas” (Press, 1999).

“A brita é um termo utilizado para se referir a fragmentos de rochas duras originados de processos de beneficiamento (britagem e peneiramento) de blocos maiores, extraídos de maciços rochosos, como granito, gnaisse, basalto, calcário, dolomito e outros, com o auxílio de explosivos ou manualmente. Desta forma, a brita tem como

principal área fonte pedreiras de rochas cristalinas quartzosas, como granito e gnaiss, com solos pouco espessos sem muita alteração” (Martins, 2014 *apud* Fortes, 2019).

O site específico de geologia chamado Geologyscience (2023) descreve as principais características do gnaiss que é “uma rocha metamórfica foliada que é um tipo comum de distribuição de rochas metamórficas regionais de alto grau de formações pré-correntes que foram inicialmente rochas ígneas ou sedimentares. Tem uma faixa que é aparente em escala microscópica e espécime de mão. Costuma destacar-se do xisto pela sua foliação e xistosidade; apresenta uma foliação devidamente avançada e uma xistosidade e clivagem pouco avançadas. Dentre outras características apresentadas a seguir.

- “Rocha-mãe: xisto, rochas graníticas e vulcânicas.
- “Textura: Foliada, foliação em uma escala de cm ou mais.
- “Tamanho do grão: grão médio a grosso; vendo a olho nu.
- “Dureza: duro.
- “Cor: geralmente alternando faixas descontínuas subparalelas mais claras e mais escuras.
 - “Mineralogia: minerais félsicos como feldspato (ortoclásio, plagioclásio) e quartzo geralmente formam as bandas de cores claras; minerais máficos como biotita, piroxênio (augita) e anfibólio (hornblenda) geralmente formam as bandas de cor escura; granada porfiroblastos comuns.
- “Geralmente áspero ao toque.
- “Estrutura: além da textura de gnaiss descrita acima, os gnaisses tendem a ser bandados em grande escala com camadas e estrias de gnaiss de cores mais escuras e mais claras. Veios de granito e quartzo e pegmatitos são comuns. Pode ser dobrado.”

3.1.2. Caracterização Tecnológica

“A caracterização tecnológica de rochas é realizada por meio de ensaios e análises, cujo principal objetivo é a obtenção de parâmetros petrográficos, químicos, físicos e mecânicos do material, que permitam a qualificação da rocha.” (Frasca, 2023).

As propriedades das rochas precisam ser determinadas para uma melhor utilização de acordo com suas qualidades, para isso a caracterização tecnológica é necessária e a seguir algumas técnicas resumidas pela autora Frasca (2023).

- “Análise Petrográfica: fornece a natureza, mineralogia e classificação da rocha, com ênfase às feições que poderão comprometer suas resistências mecânica e química, e afetar sua durabilidade e estética. A análise fundamenta-se na observação de seções delgadas das amostras, estudadas ao microscópio óptico de luz transmitida.
- “Índices Físicos: referem-se às propriedades de massas específicas aparentes seca e saturada (kg/m^3), porosidade aparente (%) e absorção d'água (%), que permitem avaliar, indiretamente, o estado de alteração e de coesão das rochas.
- “Compressão Uniaxial: determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Sua finalidade é avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física.
- “Tração na Flexão: o ensaio de tração na flexão (ou flexão por carregamento em três pontos, ou ainda, módulo de ruptura) determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores. Permite avaliar sua aptidão para uso em revestimento, ou elemento estrutural, e fornece um parâmetro indicativo de sua resistência à tração.
- “Congelamento e Degelo: Consiste em submeter a amostra a 25 ciclos de congelamento e de degelo, e verificar a eventual queda de resistência por meio da execução de ensaios de compressão uniaxial ao natural e após os ensaios de congelamento e degelo. Calcula-se, então, o coeficiente de enfraquecimento (K), pela relação entre a resistência após os ciclos de congelamento e degelo e a resistência no estado natural. É um ensaio recomendado para as rochas ornamentais que se destinam à exportação para países de clima temperado, nos quais é importante o conhecimento prévio da susceptibilidade da rocha a este processo de alteração.

- “Dilatação Térmica Linear: o coeficiente de dilatação térmica linear (10-3mm/m.oC) é determinado ao se submeter as rochas a variações de temperatura em um intervalo entre 0oC e 50oC. É importante para o dimensionamento do espaçamento das juntas em revestimentos.

- “Desgaste Abrasivo Amsler: indica a redução de espessura (mm) que placas de rocha apresentam após um percurso abrasivo de 1.000 m, na máquina Amsler. O abrasivo utilizado é areia essencialmente quartzosa. Este ensaio procura simular, em laboratório, a solicitação por atrito devida ao tráfego de pessoas ou veículos.

- “Impacto de Corpo Duro: fornece a resistência da rocha ao impacto, através da determinação da altura de queda (m) de uma esfera de aço que provoca o fraturamento e quebra de placas de rocha. É um indicativo da tenacidade da rocha.

- “Flexão: o único ensaio rotineiro que é realizado obrigatoriamente em rocha beneficiada é o de resistência à flexão (ou flexão por carregamento em quatro pontos). Nesse, simula-se os esforços flexores (MPa) em placas de rocha, com espessura predeterminada, apoiadas em dois cutelos de suporte e com dois cutelos de carregamento. É particularmente importante para dimensionamento de placas a serem utilizadas no revestimento de fachadas com o uso de sistemas de ancoragem metálica para a sua fixação.

- “Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais: a determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais (m/s) permite avaliar, indiretamente, o grau de alteração e de coesão das rochas. É realizada, complementarmente, em todos os corpos-de-prova destinados aos ensaios de compressão uniaxial e de tração na flexão, e auxilia a interpretação dos resultados obtidos nestes ensaios. Os valores relativamente mais altos, num conjunto de corpos-de-prova de uma mesma amostra ou entre amostras petrograficamente semelhantes, indicam um menor grau de alteração e uma maior coesão entre seus minerais formadores.”

3.2. Perfuração de Rochas

Os equipamentos e máquinas responsáveis pela perfuração de rocha são empregados de acordo com a sua função e necessidades características do maciço rochoso.

“Os equipamentos de perfuração podem ser classificados e agrupados de acordo com seu princípio básico de funcionamento. No entanto é preciso ter conhecimento prévio que existem perfuratrizes de potência e portes variados dentro de uma mesma classe. Estas perfuratrizes deverão ser pré-selecionadas para cada serviço de perfuração, considerando-se o tipo e as condições do maciço rochoso e também os volumes de rochas a desmontar.” (Geraldi, 2011).

“A classificação das perfuratrizes em três grandes grupos de acordo com o princípio mecânico básico utilizados para a perfuração: a percussão que é basicamente o princípio de bater uma ferramenta pontiaguda de aço contra a rocha. A percussão mais a rotação que conjuga o princípio da percussão com uma rotação contínua da ferramenta, em velocidade ajustável, de acordo com as características físicas e geológicas da rocha a perfurar. Rotação que emprega apenas o princípio de perfurar por rotação, comprimindo a ferramenta contra a rocha, sem utilizar percussão.” (Geraldi, 2011).

Segundo Silva (2009), os equipamentos roto-percussivos se classificam em dois grandes grupos, “segundo a posição do martelo: martelo de superfície (Top-Hammer) e o martelo de fundo de furo (Down The Hole).

Com relação às perfuratrizes que utilizam martelo de fundo de furo, a posição do martelo e da broca evitam a perda de energia ao longo das hastes de perfuração, necessitando de moderada força de avanço em comparação com o método rotativo. Elimina a necessidade de hastes pesadas e altas pressões de avanço, os impactos produzidos pelo pistão do martelo no fundo do furo podem provocar o desmoronamento e travamento da coluna de perfuração em rochas não consolidadas ou muito fraturadas, requerendo menor torque de rotação e a velocidade de rotação (rpm) é muito menor em comparação com o método rotativo. A faixa normal de operação é de 10 a 60 rpm.” (Silva, 2009).

Sem o fornecimento de ar comprimido não seria possível o funcionamento das perfuratrizes, portanto Geraldi (2011) explica que “para a perfuração da rocha com

perfuratrizes a ar comprimido, o fornecimento de ar é feito por compressores de acionamento elétrico ou por motores a diesel. Os compressores estacionários são instalados isoladamente ou agrupados, formando um conjunto em uma posição fixa denominada estação central ou central de ar comprimido, de onde saem as tubulações que levarão o ar para as diversas fontes de trabalho. Estes compressores podem também ser acionados por motores a diesel, em locais que faltam energia elétrica.

O acionamento por motores a diesel é utilizado normalmente por equipamentos denominados compressores portáteis, que são montados em chassis sobre pneus, o que permite seu transporte para diversas frentes de serviço deste modo os compressores ficam mais próximos das perfuratrizes e, teoricamente, operam com menor perda de carga.

Os modernos compressores elétricos estacionários têm um custo menor de aquisição e um melhor rendimento mecânico, além de motores que normalmente exigem uma menor manutenção.”

Geraldi (2011) também discorre sobre as ferramentas de perfuração e equipamentos seccionados, que são pequenas peças e equipamentos fundamentais ao funcionamento da perfuração de rochas.

“A broca integral é uma peça única (monobloco), fabricada com barra de aço, de perfil sextavado, com diâmetros de 3/4” - 7/8” - 1”. Ao longo da peça identificam-se punho e seu colar, a haste propriamente dita e a coroa perfurante, com formato em bisel onde está encaixado e soldado um insert ou uma pastilha de metal duro.”

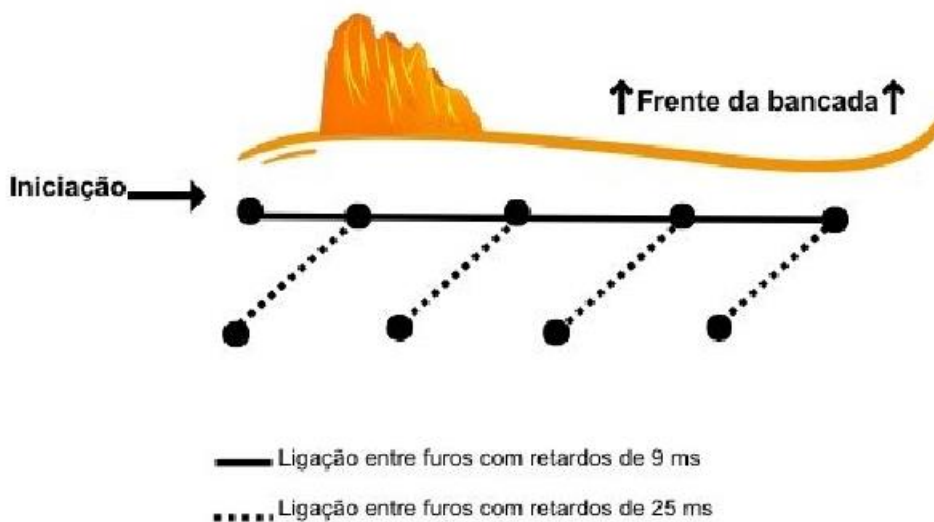
“Os equipamentos seccionados para a perfuração de rocha formam um conjunto de peças que serão acopladas(rosqueadas) para a execução progressiva de um furo, a chamada “coluna de perfuração”. Englobam todos os tipos de hastes, luvas de acoplamento, coroas de perfuração, punhos de perfuratrizes e outros acessórios que foram sendo desenvolvidos e fabricados com aços e tratamentos especiais. Estes equipamentos utilizados em perfuratrizes de maior potência e normalmente montadas sobre carretas autopropulsoras ou jumbos de perfuração.”

3.3. Malhas para Pedreiras

O esquema de ligação entre furos utilizando retardos ou não, a partir do furo de iniciação para ocorrer o desmonte de rochas com detonação de explosivos. As imagens

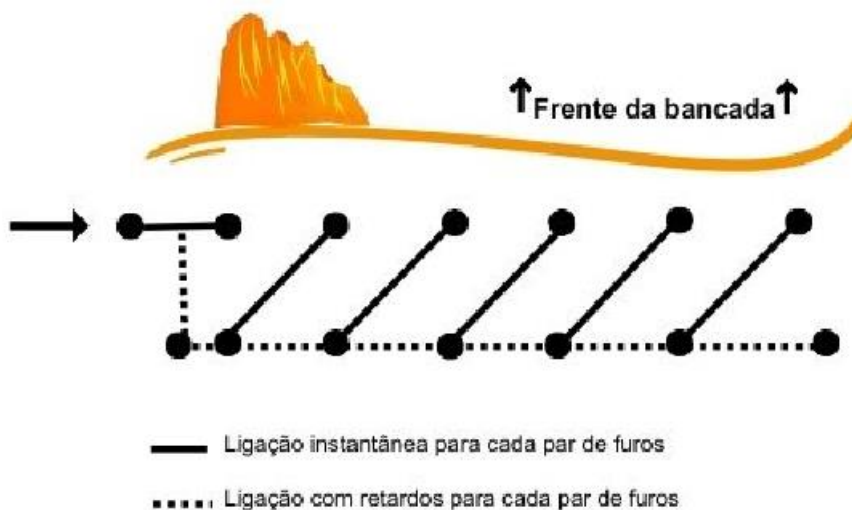
representativas de malhas de perfuração de 1 a 5 foram retiradas e redesenhadas do livro O ABC das Escavações de Rocha.

Figura 1 - Ligação sequencial para duas filas de furos



Fonte: O ABC DAS ESCAVAÇÕES DE ROCHA (Adaptado).

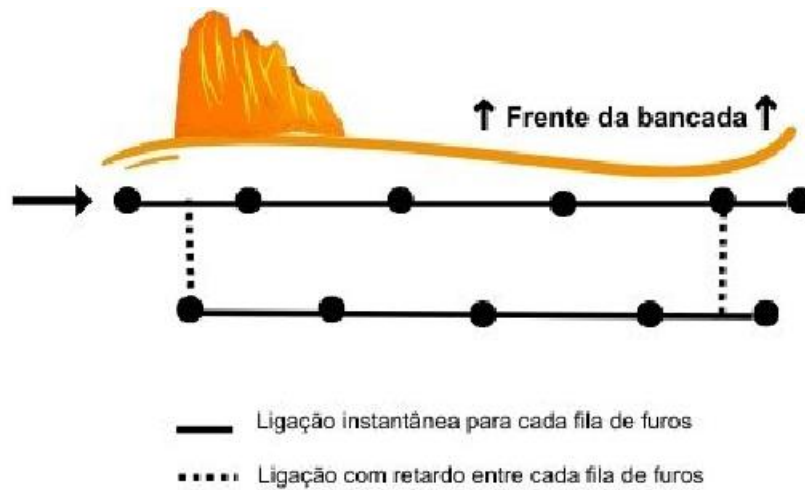
Figura 2 - Ligação com direcionamento lateral do lançamento da pilha



Fonte: O ABC DAS ESCAVAÇÕES DE ROCHA (Adaptado).

A Fig. 3 mostra a ligação com linhas paralelas de furos à frente da bancada, resultando em maior lançamento frontal da pilha.

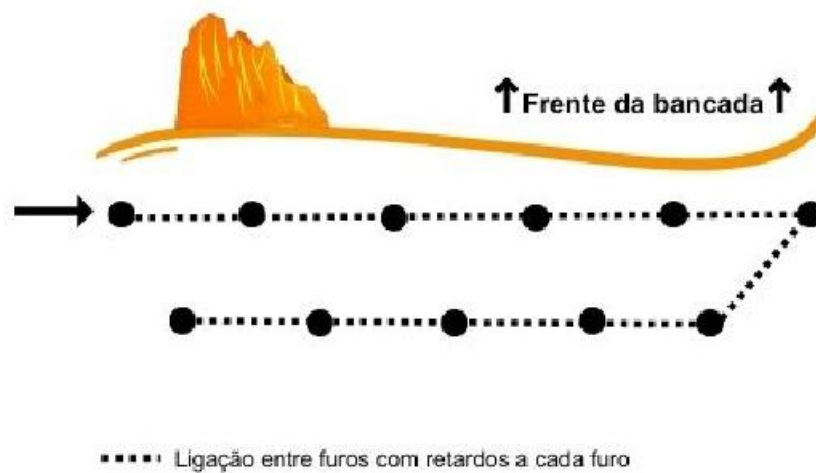
Figura 3 - Ligação com linhas paralelas de furos à frente da bancada



Fonte: O ABC DAS ESCAVAÇÕES DE ROCHA (Adaptado).

A Fig. 4 mostra a ligação sequencial com retardos a cada furo para minimizar a relação de carga máxima por retardo.

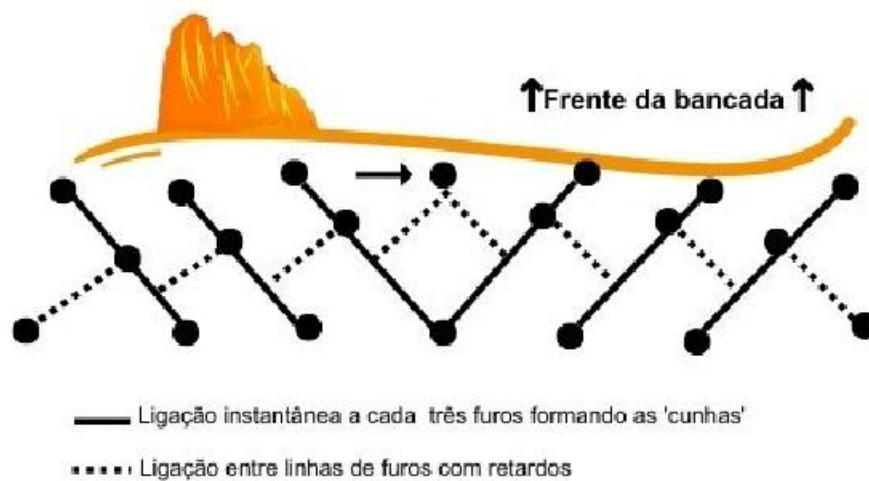
Figura 4 - Ligação sequencial com retardos a cada furo



Fonte: O ABC DAS ESCAVAÇÕES DE ROCHA (Adaptado).

A Fig. 5 mostra a ligação de furos em cunhas para lançamento frontal de curta distância.

Figura 5 - Ligação de furos em cunhas



Fonte: O ABC DAS ESCAVAÇÕES DE ROCHA (Adaptado).

Silva divide as malhas de perfuração em quatro tipos, sendo elas:

- Malhas quadradas ou retangulares: devido a sua geometria é de fácil perfuração (menor tempo de locomoção de furo a furo).
- Malhas estagiadas: devido a geometria de furos alternados dificulta a perfuração (maior tempo de locomoção furo a furo), porém possui melhor distribuição do explosivo no maciço rochoso.
- Malha Triângulo Equilátero: são malhas estagiadas com a relação $E/A = 1,15$. São indicadas para rochas compactas e duras. Possuem ótima distribuição da energia do explosivo na área de influência do furo, maximizando a fragmentação. O centro do triângulo o equilátero, o ponto mais crítico para fragmentação, recebe igual influência dos três furos circundantes.
- Malhas alongadas: Conforme a relação E/A das malhas podem assumir várias configurações. As malhas alongadas possuem elevada relação E/A , geralmente acima de 1,75. São indicadas para rochas friáveis ou macias, aumentando o lançamento por possuírem menor afastamentos.

Observação: **E** representa espaçamento dos furos e **A** representa afastamento entre furos.

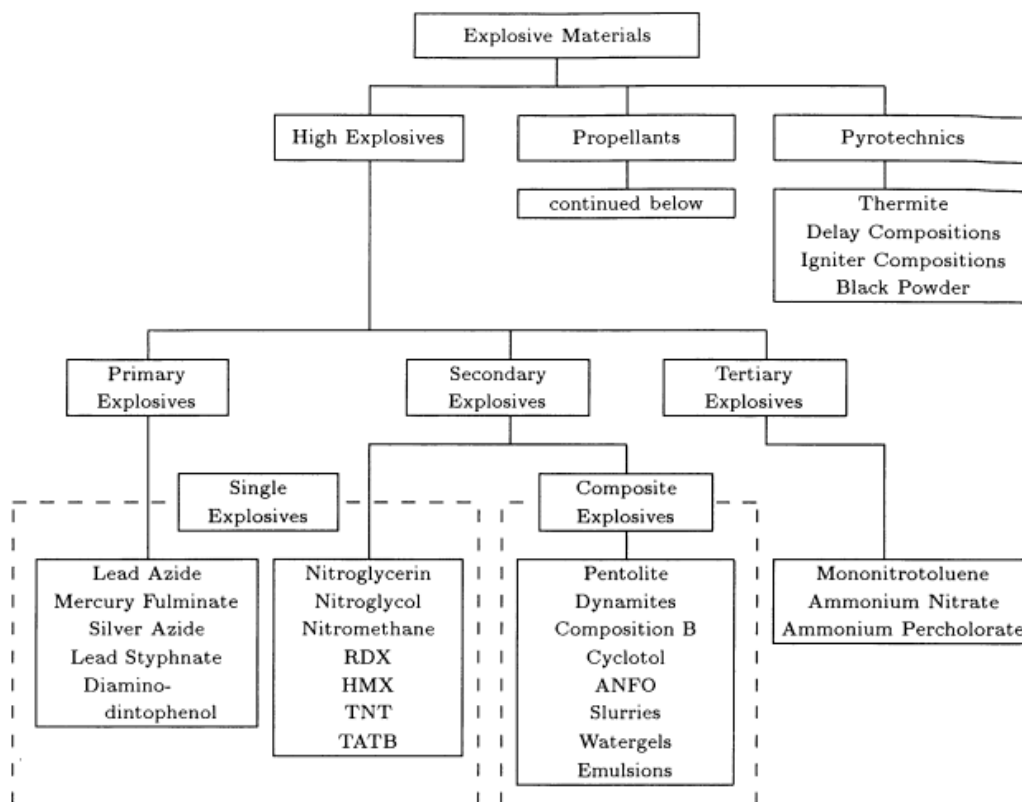
3.4. Explosivos Industriais

De acordo com Geraldi os explosivos podem ser classificados como:

- “Deflagrantes ou explosivos lentos: São aqueles que, mesmo confinados em furos ou embalagens especiais, liberam a sua energia a baixas velocidades (abaixo de 500 m/s), como a pólvora.
- Detonantes: São explosivos industriais propriamente ditos, que liberam sua energia a grandes velocidades, na faixa de 1200 a 7000 m/s, como as dinamites, gelatinas, ANFO e emulsões.
- Explosivos de Segurança: são explosivos especiais, de uso reservado das Forças Armadas, como os denominados explosivos plásticos e as munições utilizadas em armamentos.”

Os detonantes são os mais utilizados no ramo da mineração e estão classificados como explosivos de alta deflagração e secundários como esquematizado na Figura 6. As emulsões encartuchadas e ANFO merecem uma atenção maior pelas suas vantagens de utilização: “ANFO possui menor produção de gases tóxicos em relação às dinamites, menor tempo de carregamento, potência pouco inferior à da dinamite, melhor fragmentação da rocha, melhor compactação do explosivo no furo, insensibilidade a choques, facilidade de preparação e carregamento. Emulsão possui parâmetros que podem ser ajustados como densidade e viscosidade, eliminação de embalagens, melhor carregamento do furo, rapidez no carregamento dos furos, segurança nas operações, insensibilidade à água, explosivo comercial de maior potência existente.” (Silva, A. 2016).

Figura 6 - Esquematização da classificação dos detonantes



Fonte: Rock Blasting and Explosives Engineering

A classificação dos explosivos quanto a serem primário, secundário ou terciário é descrito por Silva, A. (2016):

“Explosivos primários: detonam sem confinamento sempre que presentes em grãos de tamanho milimétrico, Usados como iniciadores (pequena quantidade), manuseio perigoso, cuidados especiais na fabricação, sensibilidade (facilidade com que é iniciado) elevada reação em apenas uma etapa exotérmica. Ex: fulminato de mercúrio, azida de chumbo, azida de prata e dinitrofenol.

Explosivos secundários: maior dificuldade à detonação, sua reação inicial é endotérmica passando a exotérmica, podem ser iniciados por atrito ou impacto localizado, manuseia-se em maiores quantidades, portanto o risco é elevado. Ex: nitroglicerina (NG), TNT, DNT, dinamites, ANFO, lamas, gelatinas e emulsões.

Explosivos terciários: muito maior dificuldade à detonação, necessitam de iniciação, dificilmente são iniciados por atrito, fogo ou impacto, baixa sensibilidade. Ex: nitrato de amônio, MNT (mononitrotoluene) e perclorato de amônio, pólvora.”

3.5. Sismografia

As vibrações do solo precisam ser controladas, e para que isso ocorra, equipamentos e técnicas informam valores para que a equipe do desmorte possa modificar o seu plano de fogo e conseqüentemente criar um desmorte controlado. Segundo Pereira (2018) “em uma mina, a energia gerada é dita não natural, já que provém das atividades operacionais como transporte, detonação, dentre outras. Essas operações geram ondas sísmicas que, frequentemente e quando necessário, são registradas pelos sismógrafos. A amplitude das ondas no sismograma é proporcional à magnitude do sismo, enquanto que a intensidade sísmica é a medida dos efeitos gerados pelo sismo em determinado local.”

De acordo com o dicionário Priberam (2023) o sismógrafo “é o instrumento que mede s vibrações produzidas pelos tremores de terra.”

“Os sismógrafos profissionais procedem sem interrupção ao registro dos movimentos do solo. O princípio fundamental do seu funcionamento é simples: uma considerável massa é colocada de tal modo que consegue permanecer inerte quase que de modo absoluto frente à ação do movimento do solo. Acoplado à massa há um sistema de alavancas muito leves, que, por intermédio de uma ponta entintada ou outro dispositivo adequado, efetua o registro. O sismograma (sucessão dos registros em um papel) é, portanto, uma representação amplificada do movimento relativo entre a massa e o solo.” (Moura, 2016)

3.6. Barragens

As principais grades grupos de barragens são as convencionais e as de rejeito, na qual são diferentes em muitos aspectos apesar de possuírem algumas práticas comuns. O comparativo foi demonstrado por Szymanski (1999 apud Duarte, 2008), e descritas a seguir.

- “Barragens de contenção de rejeitos são tipicamente construídas em estágios, enquanto as barragens convencionais são geralmente construídas em estágio

único, em um curto período de tempo. Como resultado, as condições das barragens de contenção de rejeitos estão sempre mudando com o aumento progressivo da carga dos rejeitos na fundação do reservatório com o tempo, e por isso sua segurança deve ser continuamente reavaliada. Uma condição estável não é alcançada até que cesse a operação da mina. Em muitos países, as barragens de contenção de rejeitos são projetadas, construídas e operadas sobre as mesmas legislações e revisões das barragens convencionais;

- “Barragens convencionais são vistas como um recurso, com finalidade de abastecimento de água, geração de energia elétrica, dentre outros. Assim, sua construção, operação e manutenção recebem um alto padrão de cuidado e atenção pelos proprietários, que geralmente possuem sua própria equipe de engenheiros experientes. Em contrapartida, as barragens de contenção de rejeitos são vistas por muitos proprietários como improdutivas, ou parte da operação com perda de dinheiro. O significado destes aspectos é que as atitudes e os esforços na operação da mina são naturalmente menos voltados para o gerenciamento dos rejeitos;

- “Barragens convencionais são tipicamente de propriedade do Estado ou companhia de utilidade pública, com autoridades que gerenciam o recurso água. Estes proprietários geralmente possuem recursos substanciais à sua disposição, e tem um relacionamento diferente com público, já que a barragem objetiva diretamente o benefício público. Ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG 16 contrário, as barragens de contenção de rejeitos, que são de propriedade da companhia de mineração, não fornecem nenhum benefício direto ao público;

- “As companhias de mineração geralmente não possuem profissionais próprios com experiência em barragens, recorrendo então a consultores externo ao seu quadro de funcionários. Isso introduz uma nova questão no gerenciamento das instalações de rejeitos: a perda potencial da boa e clara comunicação e perda da continuidade do projeto;

- “Barragens de contenção de rejeitos geralmente retêm materiais sólidos e água que podem ser considerados contaminantes, se liberados para o meio ambiente. A composição destes materiais depende do processo industrial e do tipo de mineral explorado. A contaminação do meio ambiente pode acontecer através de drenagem ácida, infiltração dos contaminantes para o lençol freático, contaminação do solo e

água superficial a jusante, podendo até mesmo afetar a fauna local que utiliza a água da barragem para consumo.”

4. METODOLOGIA

4.1. Levantamento de dados para Pedreira

Para Geraldi (2011), “a seleção de uma frente de exploração de pedreira deve ser feita com base nos parâmetros relacionados diretamente aos quantitativos e metas de projeto (volumes necessários de rocha para britagem). Além disso, é preciso analisar também os seus condicionamentos fisiográficos e, logicamente, identificar os seus principais parâmetros geológicos.”

“As atividades necessárias, serviços e ensaios tecnológicos para a exploração correta de uma pedreira são as seguintes: mapeamento geológico de superfície; abertura de trincheiras exploratórias, perfis sísmicos; sondagens rotativas; análises mineralógicas; ensaios para determinação das características físicas e químicas da rocha.”

“Com todos os ensaios, sérvios e atividades realizadas, os parâmetros detectados são os seguintes: espessura dos capeamentos a remover sobre o maciço rochoso; presença de diaclases zonas de fraturas e descontinuidades; presença de água subterrânea e determinação do nível do lençol freático; ocorrência de bolsões ou zonas de alteração.”

4.2. Definição do Plano de Fogo

O autor Geraldi (2011) define todos os parâmetros necessários de um plano de fogo, sedo que ele sempre vai sofrer ajustes de acordo com as detonações planejadas anteriormente e cada parâmetro pode mudar de acordo com a necessidade:

“Profundidade do furo (P): profundidade é a altura da banca (H) somada a subfuração. Se a bancada for inclinada, a profundidade será um pouco maior.

“Inclinação do furo (I): a inclinação do furo melhora o arranque da rocha diminuindo formação de repés, porém não deve exceder 20° em relação á vertical.

“Diâmetro de perfuração (D): quanto maior o diâmetro do furo, maior poderá ser a malha de perfuração a ser executada, resultando em uma menor quantidade de furos.

“Subfuração (SF) e repés: é uma extensão do furo, ultrapassando a altura da frente livre da bancada. Necessário para evitar a formação de repés (porções do macio rochoso que podem permanecer intactas na soleira da bancada aos a detonação). A subfuração deverá ser no máximo 30% da medida do afastamento da malha de perfuração.

“Malha de perfuração: é a área resultante do produto do produto das distâncias (em metros) adotadas para a locação dos furos em uma frente de escavação de rocha:

$$A * E = S$$

Sendo A o afastamento; E o espaçamento; e S a malha em m².

“O afastamento (A) é a distância em metros entre a frente da bancada e a primeira linha de furos a detonar, quando tiver mais de uma linha no plano de fogo, o afastamento se mantém entre elas. O espaçamento (E) é a distância em metros entre os furos de uma mesma linha. A relação entre afastamento e espaçamento para dimensionar corretamente:

$$E = 1,3 * A$$

“A relação entre afastamento e diâmetro de perfuração é:

$$A_{máximo} < D$$

O afastamento em metros e diâmetro em polegadas.

“Malha alongada muito utilizadas em macios são, homogêneos e em baixo grau de fraturamento é utilizada a seguinte relação de afastamento e espaçamento:

$$3 < \frac{E}{A} < 5$$

“Volumes de escavação (VF e VT): a área da malha (S) e altura da bancada resultará em uma relação para o volume de rocha a ser desmontada.

$$S * H = VF(m^3)$$

“Para o volume total de rochas a ser desmontada (VT) relaciona o número de furos (n) e VF:

$$VF * n = VT(m^3)$$

“Razão linear de perfuração (RP): quanto mais baixo o RP, menor o custo direto de escavação de rocha. Para o cálculo relaciona a soma dos metros da profundidade dos furos (MT) e VT:

$$\frac{MT}{VT} = RP \left(\frac{m}{m^3} \right)$$

“Razão de carga (RC): é a quantidade de explosivos a ser utilizado por metro cúbico (ou tonelada) de rocha a ser desmontada em uma detonação. Quanto maior o RC, maior será a fragmentação da rocha e será maior a projeção da pilha de rochas a ser detonada.

“Tampão (T): é a porção superior do furo preenchida com material granular que não deve receber carga explosiva. Pode ser calculado inicialmente pela seguinte relação:

$$T_{máximo} < A(m)$$

“Carga explosiva por fogo (C) e Carga explosiva por retardo: a carga explosiva por fogo é o produto da seguinte relação:

$$C = VT * RC$$

“A carga explosiva por retardo é a carga explosiva contida nos furos a serem detonados no mesmo instante ou em um determinado intervalo de tempo propiciado pela utilização de retardos.

“Ligação (iniciação) dos furos: a iniciação pode ser ativada por estopim com espoleta de queima, por espoleta elétrica ou por um iniciador de pressão não elétrico.”

4.3. Execução do Plano de Fogo

4.3.1. Desmonte Primário

O plano de fogo bem definido e estudado todos os parâmetros para que a granulometria correta de rocha a ser obtida, os riscos ambientais e sociais minimizados e para onde o deslocamento da pilha de rocha irá ser alocada, por fim o desmonte primário é executado sem necessidade de um segundo desmonte para corrigir erros caso não tenha erros no plano de fogo ou situações adversas na execução.

4.3.2. Desmonte Secundário, Fogachos e Repés

“O desmonte secundário é uma segunda operação de desmonte de rocha necessária para reduzir grandes blocos de rocha produzidos no desmonte primário em bancadas.” (Compel, 2023).

Segundo Geraldi (2011) “os fogachos constituem-se em uma segunda operação de perfuração-detonação, para a redução de grandes rochas que não foram previstas no desmonte primário. Desta forma, o surgimento de grandes blocos de rochas pode ser provocado por: malhas inadequadas (grandes afastamentos); tampões muito profundos; explosivos e razão de carga mal dimensionados; geoestrutura do maciço rochoso (planos de fraturas e xistosidade); retardos e ligações incorretas entre furos.”

Os repés também denominados de pés das bancadas segundo Geraldi (2011), “na qual não foram arrancados pela detonação no desmonte primários, podem ser causados por: falhas na perfuração (desvio de furos); marcação incorreta da profundidade dos furos; malhas incorretas; baixas razões de cargas (explosivos inadequados); furos carregados de forma inconveniente; furos sujos contendo pó e fragmentos de rochas produzidos na perfuração.”

4.4. Monitoramento Sismográfico

O monitoramento sismográfico pode mudar os próximos planos de fogo de acordo com suas medições, e para o autor França (2017) “é fundamental, a partir das medições, obter os parâmetros que permitem a análise das vibrações, como a velocidade de partícula e a frequência. A obtenção desses dados experimentalmente é feita através

de sismógrafos dotados de geofones, adequadamente localizados em uma região correlacionada ao presente estudo. Os geofones, transformam a energia mecânica de vibração em energia elétrica com intensidade proporcional ao movimento de oscilação.

“Após cada detonação os geofones recebem os impulsos sísmicos, em diferentes instantes e fazendo seu registro. Esses últimos, depende dos limites de detecção do equipamento, ajustada pelo técnico operante, denominado de “trigger” (valor mínimo para ativação, definido para iniciar a medição) no qual indica o instante de uma detonação.

“No sismógrafo, o dispositivo utilizado é o geofone. Este equipamento realiza uma medição direta da velocidade de partícula, através de um sistema de bobina móvel suportada por molas e um ímã fixo. Ao contrário do acelerômetro, o mesmo opera sobre sua frequência natural e quando se medem frequência muito baixas, a saída se vê influenciada por suas características de resposta. Para isso os sinais resultantes em termos dos níveis de vibração devem ser corrigidos adequadamente. Também não é um equipamento tão robusto como o outro citado, isso faz com que se torne mais fácil seu manuseio, outro fator se dá à comparação econômica entre os dois, no qual o geofone, apresenta ser mais em conta. Para tal este equipamento não se é adequado quando à frequência dominante ultrapassa os 500 Hz.”

5. ESTUDO DE CASO

A perfuração e desmonte de rochas utilizando explosivos envolvem etapas a serem seguidas para que não ocorra erros ou que possam ser minimizados e a execução do serviço possa ser feita no tempo pré-estabelecido.

5.1. Planejamento do Plano de Fogo

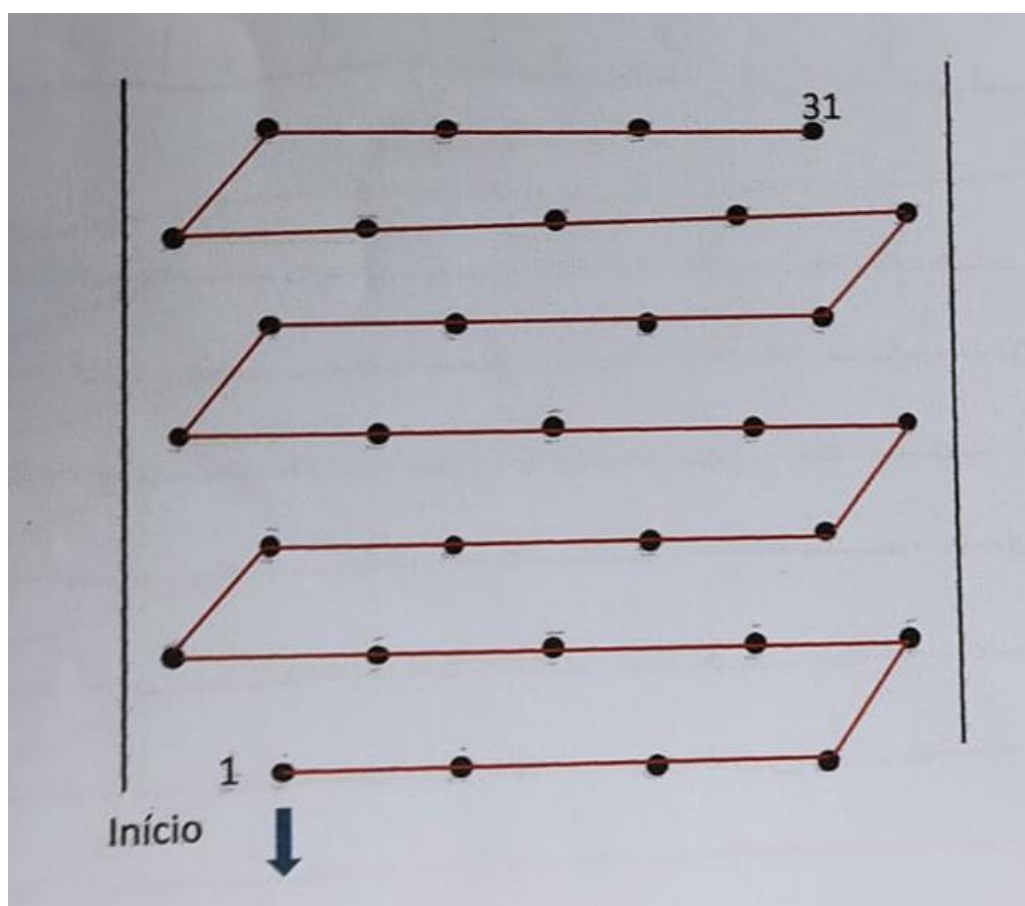
Em Dom Silvério onde se localiza a empresa é feito o planejamento do plano de fogo a ser executado ou pode ser realizado esse planejamento nas próprias cidades onde estão os clientes.

Este estudo preliminar é feito para saber qual o plano de perfuração, o tipo e a quantidade de explosivo utilizada e por fim qual a malha de perfuração para que a

detonação atenda às necessidades do cliente. Segundo Moraes (2004 apud Rezende, 2021), a malha de perfuração pode variar a depender de diversos fatores como diâmetro de perfuração, as propriedades da rocha e dos explosivos, do grau de fragmentação e lançamento requeridos e da altura da bancada.

A malha de perfuração representada na Figura 7 possui todos os cálculos já feitos da profundidade do furo, inclinação do furo, diâmetro de perfuração, afastamento e espaçamento dos furos, razão linear de perfuração, razão de carga, tampão, a carga explosiva por fogo e a carga explosiva por retardo, quais são as ligações e onde o fogo inicia.

Figura 7 - Malha de Perfuração



Fonte: Ouro Preto Comércio e Serviços Minerários

O cálculo da carga explosiva na Tabela 1 está descrito na primeira coluna qual a linha e a sequência do número do furo que se encontra na malha de perfuração, a profundidades dos furos em metros na segunda coluna, a quantidade de emulsões

encartuchadas na terceira coluna, e as cargas explosivas em quilogramas na quarta coluna. O plano de fogo foi utilizado no distrito Lavras Novas.

Tabela 1 - Cálculo da carga explosiva

LINHA /Nº DO FURO	PROFUNDIDADE DO FURO (M)	QUANTIDADE DE EMULSÕES	CARGA EXPLOSIVA(KG)
L1/1	6,4	7,5	10,41
L1/2	6,4	8,67	12,03396
L1/3	6,6	9	12,492
L1/4	6,6	9,33	12,95004
L2/1	6,8	9	12,492
L2/2	6,9	9,5	13,186
L2/3	6,8	9,33	12,95004
L2/4	6,9	9,5	13,186
L2/5	6,4	8,67	12,03396
L3/1	7	8,6	11,9368
L3/2	6,9	9,5	13,186
L3/3	6,7	9,17	12,72796
L3/4	6,7	9,17	12,72796
L4/1	7,2	10	13,88
L4/2	7,2	10	13,88
L4/3	7	9,67	13,42196
L4/4	6,9	9,5	13,186
L4/5	6,6	9,33	12,95004
L5/1	7,5	10,5	14,574
L5/2	7,3	10,17	14,11596
L5/3	6,9	9,5	13,186
L5/4	7	8,6	11,9368
L6/1	7,6	10,67	14,80996
L6/2	7,6	10,67	14,80996
L6/3	7,3	10,17	14,11596
L6/4	7,1	9,83	13,64404
L6/5	6,8	9,33	12,95004
L7/1	7,5	10,5	14,574
L7/2	7,5	10,5	14,574
L7/3	7	9,67	13,42196
L7/4	7,1	9,83	13,64404
TOTAL	216,2	295,38	409,9874

Fonte: Ouro Preto Comércio e Serviços minerários

A subfuração e repés são calculados separadas do plano de fogo devido a densidade ser maior e um volume de rocha menor, podendo acompanhar a malha ou executar de forma separada. O “repé” precisa ser retirado primeiro para liberar a face livre para que a detonação não fique presa e atrapalhe os seguintes furos a serem detonados.

Para Valcarengi (2015) “quando o arranque da rocha no nível da praça não se dá por completo, acaba gerando algumas saliências, denominadas de “repé”, que também necessitam ser removidas por detonação posterior. Sendo assim, existem vários fatores que interferem na exatidão de volume do mineral de interesse realmente desmontado”.

5.2. Perfuração utilizando perfuratriz

A perfuratriz acompanhada de um compressor na Figura 8 é um equipamento próprio para perfuração em rocha. O ar comprimido é fornecido pelo compressor que está sobre rodas e a perfuratriz que utiliza o martelete está sobre a esteira.

Figura 8 - Perfuratriz e compressor



Fonte: Imagem Autoral

“Em origem do latim *compressor*, um compressor é aquilo que comprime (prensa, oprime, reduz para um menor volume). O termo é usado para designar qualquer máquina que, graças a um aumento de pressão, é capaz de deslocar fluidos comprimíveis como, por exemplo, os gases.” Kennedy (2023).

Segundo o dicionário retirado do site Engenharia Civil.com (2023) a perfuratriz é o “equipamento de perfuração de solos e rochas através de movimentos rotativos com trado ou de percussão com broca ou martelo.”

O serviço prestado na empresa Engesol para extração de minerais não metálicos foi analisada o tempo de trabalho do operador de perfuratriz para realizar furos de dez metros. Para que seja satisfatório o dia de serviço do operador de perfuratriz é necessário que se realize em média dez furos por dia obedecendo os critérios e locais estabelecidos no plano de fogo. O tempo para fazer cada furo pode variar de acordo com o tipo de rocha, as fraturadas podem variar de quarenta a cinquenta minutos e as compactas uma hora em média.

5.3. Desmonte de Rochas utilizando explosivos

Os períodos de chuva, onde a mina fica como na Figura 9, e as rochas fraturadas são determinantes para escolha do explosivo utilizado.

Figura 9 - Água de chuva preenchendo os furos



Fonte: Imagem Autoral

Portanto, em Carandaí e Lavras Novas foram necessário fazer uso da emulsão encartuchada representada na Figura 10. A emulsão encartuchada é mais densa que a água, portanto ela chega ao fundo do furo sem problemas se o furo caso ele estiver apenas com água.

Figura 10 - Emulsão encartuchada

Fonte: Imagem Autoral

As adversidades do trabalho em campo é algo que pode mudar os planos de quem está executando o plano de fogo. Os furos devem ser devidamente tampados para que não caiam fragmentos de rochas e altere a profundidade. A água pode se tornar um problema caso ela se misture com o solo presente próximo aos furos, alternando a densidade da água e podendo dificultar o carregamento dos furos e a emulsão encartuchada não descer até o final do furo.

A Figura 11 é o estopim de queima utilizados para iniciação de furos carregados e queima em três minutos(tempo suficiente para sair da área do desmonte com segurança), a espoleta simples utilizada para provocar a detonação dos explosivos na qual a Figura 12 tem uma não detonada e outra detonada , na Figura 13 o cordel detonante que é utilizado junto ao explosivo para tenha garantia da detonação e os panos de fogo específicos que tenham detonação quase no mesmo instante devido à alta velocidade de detonação de 7000 m/s, valor de velocidade de acordo com Pirobras (2023).

Figura 11 - Estopim



Fonte: Imagem Autoral

Figura 12 - Espoleta não detonada e detonada



Fonte: Imagem Autora

Figura 13 - Cordel detonante



Fonte: Imagem Autoral

O Brinel não elétrico representados nas Figuras 14 e 15 faz a ligação dos furos com os explosivos e pode possuir diferentes tempos de acordo com o tipo de detonação desejada, normalmente utilizam não elétricos de tempos diferentes para coluna do furo e para ligação em superfície.

Segundo a empresa Enaex (2021) “Brinel é uma família de detonadores com retardo, de iniciação não elétrica. É utilizado para iniciação de cargas explosivas. Propicia ótimos resultados graças à precisão dos seus tempos e sua iniciação pontual, seja em mineração a céu aberto, subterrânea, pedreiras e construção civil. Fabricado com o tubo Thermotube, que possui tecnologia diferenciada em que não se utiliza explosivo. Diferente dos tubos convencionais que emitem uma onda de choque, no Thermotube há emissão de uma centelha fundida de alta temperatura.”

Figura 14 - Brinel não elétrico



Fonte: Imagem Autoral

Figura 15 - Brinel não elétrico



Fonte: Imagem Autoral

Outro material utilizado no desmonte é o cascalho fino ou médio para utilizar de tampão depois de carregados os furos, o cuidado que se deve ter é o cascalho não arranhar

brinel não elétrico. O atacador que é um bastão de madeira ou plástico utilizado para corrigir a emulsão dentro do furo de forma que fique bem próximo um explosivo do outro, também útil para adensar as emulsões de forma a forçar a quantidade correta de explosivos dentro do furo devido a alguma condição adversa que fez o furo estar menor que o planejado.

A frente de detonação representado na Figura 16 é importante estar limpa de fragmentos de rochas, principalmente próximo aos furos para que não haja ultra lançamentos indesejados.

Figura 16 - Frente de detonação



Fonte: Imagem Autoral

A retroscavadeira grande na Figura 17 é útil para remoção das rochas detonadas e as de pequeno porte podem servir para a limpeza da frente de detonação.

Figura 17 - Retroescavadeira grande



Fonte: Imagem Autoral

A granulometria desejada das rochas varia para as empresas. A Engesol na Figura 18 exige rochas maiores que cascalho pequeno, porém menores que seixos de tal forma que possam ser britadas no britador que a empresa possui com as dimensões de 100 cm por 80 cm, portanto rochas que ultrapassam as dimensões da entrada do britador precisam ser fragmentadas pelo Rompedor de rochas e aumentando o custo do desmonte.

O tampão calculado foi de fundamental importância para os resultados (Figura 18) de granulometria da rocha na empresa Engesol, sendo que na teoria o cálculo do tampão é feito multiplicando o afastamento por 0,7. Um exemplo é a utilização de afastamento de 1,3 e tampão calculado de 0,9, mas se necessitasse de uma segurança maior devido a construções ou danos a meio ambiente utilizaria um tampão com valor de 1,3 na qual o valor é encontrado observando práticas anteriores e conseguindo um valor seguro e eficiente de granulometria.

Figura 18 - Engesol Indústria e Mineração



Fonte: Imagem Autoral

A empresa Fronter Engenharia de Obras Eireli na qual está responsável pelas obras na Represa do Custódio precisa de fragmentos de rochas grandes como na Figura 19 variando de cascalho grande a matacão para sustentar a barragem de água representada na Figura 20.

Figura 19 - Barragem



Fonte: Imagem Autoral

Figura 20 - Desmonte no distrito de Lavras Novas



Fonte: Imagem Autoral

As rochas são facilmente fragmentáveis e os matações formados podem se romper com a retroescavadeira ou quando raramente não for possível o rompimento apenas um furo como mostrado na Figura 21 no matacão é feito a sem necessidade de um plano de fogo. O matacão é “o sedimento formado por fragmentos com mais de 256 mm de diâmetro e chama-se matacão” (CPRM, 2023).

Figura 21 - Desmonte de uma rocha



Fonte: Imagem Autoral

5.4. Análise do Sismógrafo na Represa do Custódio

A Represa do Custódio, localizada no distrito Lavras Novas, no município de Ouro Preto, estado de Minas Gerais, está passando por reformas e uma das atividades desempenhadas para reforçar a barragem de água é a alocação dos fragmentos de rocha provenientes do desmonte em um local próximo a barragem.

Devido a propagação de ondas sísmicas até a barragem na qual é provocada pelas detonações do desmonte foi necessária a contratação da empresa Geoavaliar Serviços Ambientais para realizar o monitoramento dessas ondas sísmicas.

O sismógrafo na Figura 22 fica atracado a terra em uma posição horizontal de forma que possa captar todos os tipos de vibração, ruídos e ondas. A parte sobre o tripé responsável por captar o som. A localização deste equipamento é bem próxima de onde o desmonte de rochas foi feito.

Figura 22 - Sismógrafo



Fonte: Imagem Autoral

A Figura 23 mostra os pinos que captam as vibrações do solo.

Figura 23 - Sismógrafo



Fonte: Imagem Autoral

A análise do resultado do sismógrafo como na Figura 24 é possível saber qual o limite de razão de carga para os próximos desmontes sem que corra riscos de afetar a barragem com vibrações indesejadas e acontecer acidentes com rachaduras na estrutura ou até mesmo o rompimento do concreto. O valor foi bem aceito das vibrações pois atendiam a faixa que é para construções vulneráveis, na qual era a realidade da empresa que detinha construções sendo realizadas e também a proteção da barragem de água. Segundo Moutinho (2007) as vibrações provocadas por trabalhos com explosivos para construções vulneráveis ou em restauro precisam se encontrar na faixa de velocidade de 8 a 12 mm/s, considerando a proximidade da medição estar aproximadamente menos de 200 metros do local de detonação e da barragem, mas não por cima da barragem e sim em uma área próxima.

Figura 24 - Resultados do sismógrafo



Fonte: Imagem Autoral

6. LEGISLAÇÃO DO COMÉRCIO, TRANSPORTE, MANUSEIO E DETONAÇÃO DOS EXPLOSIVOS

A segurança é um fator que deve ser seguido com rigor da lei para principalmente evitar acidentes com o transporte, manuseio e execução da detonação dos explosivos.

Todas informações que foram utilizadas para sobre as leis de compra, transporte e manuseio de explosivos foram da Norma Regulamentadora nº19 com sua última atualização na data de 20 de dezembro do ano de 2022 está presente no site gov.br na qual possui sua última atualização e também do site do Ministério da Defesa sobre a PORTARIA Nº 42 - COLOG, DE 28 DE MARÇO DE 2018.

O objetivo principal da NR-19 é descrito no parágrafo 19.1.1: “tem o objetivo de estabelecer os requisitos e as medidas de prevenção para garantir as condições de segurança e saúde dos trabalhadores em todas as etapas da fabricação, manuseio, armazenamento e transporte de explosivos,” BRASIL (2022).

A empresa Ouro Preto não fabrica os explosivos e demais acessórios, portanto, ela apenas é responsável pela compra e manuseio quando os produtos são entregues pelo caminhão responsável da empresa fornecedora.

A compra dos explosivos deve seguir as exigências do Ministério da defesa, Exército Brasileiro e Comando Logístico na qual diz sobre a Seção IV - Do Comércio: Art. 15. “A comercialização de explosivos deverá ocorrer somente para as pessoas registradas no Exército que exerçam atividades com esses produtos,” BRASIL (2018). A comercialização, portanto, deve ser assegurada a quem possui autorização e esse é um dos pontos a serem destacados da exigência do Ministério da Defesa.

Sobre o transporte realizado pela empresa fornecedora dos explosivos ela reforçava sua segurança com a escolta armada em outro carro que segue o caminhão desde a fábrica até o local do desmonte, essa escolta deve estar no local de entrega até o último explosivo ser colocado no furo, BRASIL (2018). O caminhão que transporta toda carga delicada de explosivos e demais acessórios deve seguir a Seção V -Do Transporte: Art. 23. “O transporte de explosivos no território nacional deverá ser realizado em veículo de carroceria fechada tipo baú ou em equipamento tipo container”, BRASIL (2018). A NR-19 em seu parágrafo 19.6.4 “Explosivos podem ser transportados com acessórios iniciadores, desde que os acessórios iniciadores estejam em compartimento ou uma caixa

de segurança, isolados dos demais produtos transportados; e em embalagens que evitem o risco de atrito ou choque mecânico”, BRASIL (2022). Estas são algumas recomendações que devem ser seguidas com o rigor da lei para o transporte da carga.

O manuseio dos explosivos deve ser feito por técnicos habilitados a essa tarefa pelo seu treinamento e estudo. Uma medida a se destacar sobre a NR-19 e parágrafo 8.5.1 “As ferramentas utilizadas no manuseio de materiais explosivos devem ser de aço inoxidável ou outro material que dificulte a geração de faíscas,” BRASIL (2022).

O final do desmonte de rochas é feito com a detonação e o serviço precisa ser conferido se foi realizado de acordo com as normas e se não possui riscos posteriores a fragmentação de rochas. O parágrafo previsto em lei do Ministério da Defesa da Seção VII – Da detonação no Parágrafo único. “Ao final da detonação o responsável designado deve verificar as sobras de explosivos e sua destinação, confirmando a exatidão dessas informações”, BRASIL (2018).

Os documentos estão disponíveis para consulta em sua forma integral e todos os requisitos das normas devem ser cumpridas.

7. CONCLUSÕES

A perfuração e desmonte são áreas da mineração que requerem um planejamento prévio e uma execução com profissionais capacitados para o serviço, porque as adversidades climáticas, do relevo, dos operadores e dos materiais utilizados são problemas enfrentados e precisam de conhecimento específicos para resolver e concluir o desmonte a tempo estabelecido para que o cliente possa receber o serviço e atender a demanda que ele se propôs a entregar de material de rocha fragmentado.

O mercado exige uma faixa granulométrica de rocha adequada a sua utilização e para cada caso do exemplo deste documento foi exigido tamanhos diferentes como na empresa Engesol que o parâmetro do diâmetro da rocha é a abertura do britador e na Fronter precisa de fragmentos grandes que a retroescavadeira e o caminhão possam manejar e transportar até a barragem.

Sobretudo o que é mais importante é a segurança de todos os trabalhadores e moradores das regiões próximas ao desmonte para que não tenha ultra lançamentos e vibrações capazes de causar acidentes. A utilização do sismógrafo para a segurança da barragem é um suporte primordial da empresa Geoavaliar para a empresa Ouro Preto dimensionar os próximos planos de fogo sem riscos a vida humana, a natureza e as estruturas de construção civil.

A legislação que deve ser atendida em todas as etapas desde a compra dos explosivos até a sua detonação é de fundamental importância estar sempre revisando as atualizações e tomando todos os cuidados que estes documentos regulamentam.

8. REFERÊNCIAS

GERALDI, JOSÉ LÚCIO PINHEIRO. O ABC DAS ESCAVAÇÕES DE ROCHA.1ª Edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

BRITANITE. Manual Básico de Utilização de Explosivos. Acesso em 12 jun. 2023.

VALCARENGHI, Dartanhan de Oliveira. Metodologia de análise quantitativa de volume de rocha desmontado utilizando software de mineração. Revista Monografias Ambientais, Santa Maria, v. 14, p. 01-13, 2015.

REZENDE, L. R. D. AVALIAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE PERFURAÇÃO E DESMONTE NO PLANO DE FOGO DA MINERAÇÃO AURA APOENA. Cuiabá: 2021.

MORAIS, J. L. Simulação da Fragmentação dos Desmontes de Rochas por Explosivos. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

Engenharia Civil.com ENGENHARIA CIVIL NA INTERNET. Disponível em: <<https://www.engenhariacivil.com/dicionario/perfuratriz>>. Acesso em: 13 jan. 2023.

Ferramentas KENNEDY. Disponível em: <<https://www.ferramentaskennedy.com.br/blog/como-usar-um-compressor-de-ar-confira-dicas>>. Acesso em: 13 jan. 2023.

ENAEX. Brinel. Ficha Técnica 051/01/00 R1. Disponível em: <<https://www.enaex.com/br/content/uploads/sites/7/2022/02/Brinel-1.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2023.

MOUTINHO, C.M.R. CONTROLO DE VIBRAÇÕES EM ESTRUTURAS DE ENGENHARIA CIVIL. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.

BRASIL. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Portaria MTP n.º 4.219, de 20 de dezembro de 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-19-atualizada-2022.pdf>> Acesso em: 14 jan. 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DA DEFESA. EXÉRCITO BRASILEIRO. COMANDO LOGÍSTICO. PORTARIA No 42 - COLOG, DE 28 DE MARÇO DE 2018. Disponível em:< <http://www.dfpc.eb.mil.br/images/PORT42.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2023.

Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 340p, 1999. PRESS, F.; GROTZINGER, J.; SIEVER, R.; JORDAN, T. H. Para Entender a Terra. Tradução: MENEGAT, R.

GEOLOGYSCIENCE. 2018. Disponível em: <<https://geologyscience.com/rocks/metamorphic-rocks/gneiss/>> Acesso em 13 mar. 2023.

MARTINS, C. C. Utilização de métodos geométricos para auxílio do planejamento de lavra em pedra de gnaiss. 2014. Dissertação (Mestrado em Geofísica) –Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FORTES, A. G. Junho de 2020. Disponível em: <<https://revista.univap.br/index.php/revistaunivap/article/view/2285/1628>>. Acesso em: 13 mar. 2023.

FRASCÁ, M. B. O. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.sfipec.org.br/sindicatos/simagran/artigos_palestras/Curso_Caracterizacao_TecndeRochas.htm#:~:text=A%20caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20tecnol%C3%B3gica%20de%20rochas,uso%20no%20revestimento%20de%20edifica%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 14 mar. 2023.

BRANCO, P. M. Julho de 2015. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Rochas-1107.html>>. Acesso em: 14 mar. 2023.

SILVA.V.D. Curso de MIN 210 – Operações Mineiras. Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas, UFOP, Minas Gerais, 2009.

PERSSON, P.A., HOLMBERG, R., LEE, J. Rock blasting and explosives engineering. International Society of Explosives Engineers. CRC Press, Inc. USA. 1994.

SILVA, A. L. M. A. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Abril de 2016. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1216077/mod_resource/content/1/Int%20Lavra%20Aula%203_2016.pdf> Acesso em: 14 mar. 2023.

Pereira, G. M. ANÁLISE DO POSICIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE SISMOGRAFIA EM CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS. Dissertação de mestrado para a obtenção do título de mestre em Engenharia Mineral pela Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

DUARTE, A. P. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

FRANÇA, S. D. CONTROLE AMBIENTAL ATRAVÉS DO MONITORAMENTO SISMOGRÁFICO: CASO DA MINERAÇÃO DE CALCÁRIO EM JOÃO PESSOA-PB. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mineral, Centro de Tecnologia em Geociência da Universidade Federal de Pernambuco, Recife 2017.

COMPEL. Disponível em: < <https://www.compeexplosivos.com.br/desmonte-secundario#:~:text=Saiba%20mais%20sobre%20Desmonte%20secundario.no%20desmonte%20prim%C3%A1rio%20em%20bancadas>. > Acesso em: 14 mar.2023.

PIROBRAS. Disponível em: < <https://www.pirobras.ind.br/produtos-pirocord.html> > Acesso em 16 mar.2023.

BRANCO, P. M. Julho de 2015. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Rochas-1107.html> > Acesso em 16 mar 2023.