



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**PEDRO HENRIQUE STEFANI**

**CARGA EXPLOSIVA: DESMONTE DE ROCHAS À CÉU ABERTO**

Palhoça, SC

2019

**PEDRO HENRIQUE STEFANI**

**CARGA EXPLOSIVA: DESMONTE DE ROCHAS À CÉU ABERTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Eng. Marcelo Cechinel, Esp.

Palhoça

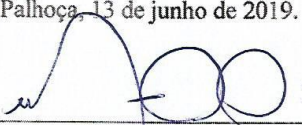
2019

**PEDRO HENRIQUE STEFANI**

**CARGA EXPLOSIVA: DESMONTE DE ROCHAS À CÉU ABERTO**

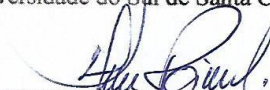
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 13 de junho de 2019.



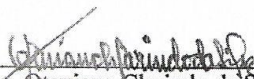
---

Professor e orientador Eng. Marcelo Cechinel, Esp.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Prof. Huri Alexandre Raimundo, MSc  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Eng. Otaviano Clarindo da Silva  
Engenheiro de Minas

"Ter sucesso é falhar repetidamente, mas sem perder o entusiasmo" – Winston Churchill.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais por terem me dado à oportunidade de cursar engenharia. Aos meus colegas de profissão, pela parceria na vida e nos estudos.

Agradeço ainda, a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para a execução deste projeto.

“Grandes ideias devem ter surgido na mente de notáveis realizadores as quais, entretanto não puderam frutificar por falta de condições locais, técnicas ou econômicas” (VASCONCELOS, 1992).

## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar ao leitor a complexidade associada às atividades de lavra que precedem o beneficiamento e obtenção dos agregados utilizados hoje na construção civil. Isso inclui, além de dados informativos sobre o procedimento de desmonte de rocha a céu aberto com o uso de explosivos, a aplicação desse procedimento em uma pedreira localizada em Tijucas, Santa Catarina, e uma breve análise de custos de desmonte.

Palavras-chave: lavra a céu aberto; pedreira; desmonte de rocha; explosivos; plano de fogo.

## **ABSTRACT**

The main objective of this term paper is to introduce to the reader the complexity associated to the mining activities that precedes the mineral-processing of the aggregates used in construction nowadays. It includes, besides the informative facts about the rock clearing in open-pits using the blasting technique, the application of this procedure in a open-pit mine which is located in Santa Catarina, Brazil, and a short review of mining costs.

Keywords: open-pit mine; quarry; rock clearing; explosives; blasting technique.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ferramentas abandonadas na Mina de Podgórze, Polônia.....	24
Figura 2 - Escravo utilizando bateia na mineração de ouro .....	27
Figura 3 - Classificação da produção e das reservas minerais brasileiras no mundo .....	28
Figura 4 - Desmonte com argamassa expansiva .....	30
Figura 5 - Testemunhos da sondagem rotativa.....	32
Figura 6 - Configuração de uma bancada.....	33
Figura 7 - Emulsão encartuchada e bombeada.....	36
Figura 8 - Inclinação dos furos.....	41
Figura 9 - Carregamento de um furo .....	43
Figura 10 - Produção mineral do Brasil em toneladas .....	48
Figura 11 - Pedreira situada no município de Tijucas, Santa Catarina .....	60
Figura 12 - Instalações da pedreira situada no município de Tijucas, Santa Catarina .....	61
Figura 13 - Marcação dos furos.....	62
Figura 14 - Marcação dos furos por topografia.....	62
Figura 15 - Malha estagiada “pé de galinha” .....	63
Figura 16 - Perfuratriz e hastes rosqueáveis.....	65
Figura 17 - Amostras da dosagem.....	66
Figura 18 - Tampão .....	66
Figura 19 - Bobina de cordel detonante e ligações entre furos .....	67
Figura 20 - Retardos de 17 e 25 ms, respectivamente .....	67
Figura 21 - Ligações entre furos, malha estagiada.....	68
Figura 22 - Pilha de material proveniente dos desmontes 1 e 2 .....	68
Figura 23 - Fragmentação de matacos com utilização de bola de aço .....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de equipamentos de perfuração.....	38
Tabela 2 - Profundidades de perfuração com sobrefuração .....	42
Tabela 3 - Parâmetros do plano de fogo determinados do PAE.....	64
Tabela 4 - Principal uso dos agregados .....	70
Tabela 5 - Custos do fogo 1, com 51 furos .....	71
Tabela 6 - Custos do fogo 2, com 106 furos .....	72
Tabela 7 - Resumo comparativo dos desmontes .....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A - Custo do explosivo por kg

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANM - Agência Nacional de Mineração

APP - Área de Preservação Permanente

DAER-RS - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

E - Espaçamento

f - Metros Lineares de perfuração por m<sup>3</sup> de rocha

H - Altura da Bancada

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração

Ic = Custo da Perfuração e Detonação

IMA - Instituto do Meio Ambiente

IN - Instrução Normativa

ONG - Organização Não Governamental

p - Profundidade do Furo

PAE - Plano de Aproveitamento Econômico

PRAD - Projeto de Recuperação de Área Degradada

PETN - Tetranitrito de penta-eritritol

M - Custo por Metro de Perfuração

NR - Norma Regulamentadora

NRM - Normas Regulamentadoras de Mineração

v - Volume

V – Afastamento

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>23</b>
1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	23
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>24</b>
2.1 MINERAÇÃO NO BRASIL	25
2.2 EXTRAÇÃO PÉTREA	28
2.2.1 Classificação do maciço	29
2.2.2 Desmonte de rocha a frio	30
2.2.3 Desmonte de rocha a fogo	30
2.3 DESMONTE DE ROCHA A CÉU ABERTO COM USO DE EXPLOSIVOS	31
2.3.1 Ensaios de caracterização da rocha	31
2.3.2 Bancadas de exploração	32
2.3.3 Equipamentos	33
2.3.4 Explosivos	34
2.3.4.1 Emulsão Encartuchada	35
2.3.4.2 Emulsão Bombeada	35
2.3.5 Acessórios	36
2.3.6 Plano de fogo	37
2.3.6.1 Diâmetro das perfurações	38
2.3.6.2 Afastamento	38
2.3.6.3 Espaçamento	39
2.3.6.4 Tipo de malha	39
2.3.6.5 Inclinação dos furos	40
2.3.6.6 Altura da bancada	41
2.3.6.7 Profundidade de perfuração	42
2.3.6.8 Carga de fundo e Carga de Coluna	42
2.3.6.9 Tampão	43
2.3.6.10 Sequência de fogo	44
2.3.6.11 Consumo de explosivo	44
2.3.6.12 Produção por metro de perfuração	45
2.3.6.13 Escolha do Plano de Fogo	45
2.3.6.14 Custo de Perfuração e Detonação	45
2.3.7 Impactos Ambientais	46

2.3.8	Beneficiamento	47
2.4	ÓRGÃOS E NORMAS REGULAMENTADORAS BRASILEIRAS	49
2.4.1	ANM	49
2.4.2	IBRAM	50
2.4.3	Código de Mineração	51
2.4.4	NRM	52
2.4.5	IN 07	54
2.4.6	NR 22	56
<b>3.</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>	<b>60</b>
3.1	DECAPEAMENTO	61
3.2	LIMPEZA DA SUPERFÍCIE E MARCAÇÃO DOS FUROS	61
3.3	PERFURAÇÃO	64
3.4	PREPARO DOS FUROS, PREENCHIMENTO COM MATERIAL EXPLOSIVO E DETONAÇÃO	65
3.5	BENEFICIAMENTO	69
3.6	ANÁLISE DE CUSTOS E EFICIÊNCIA DOS DESMONTES	71
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>74</b>
<b>5.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>75</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, o homem já utilizava recursos naturais encontrados na natureza para a fabricação de ferramentas e utensílios úteis no seu dia a dia. A partir do momento que o ser humano deixava de ser nômade e com o crescimento da população das pequenas comunidades, foi surgindo a necessidade da construção de moradias suficientes para abrigar a todos.

As primeiras moradias, depois da utilização de cavernas naturais, foram residências compostas por pedras, madeira e argila, todos materiais fáceis de se encontrar na natureza. Vale lembrar que, naquela época, os recursos naturais existiam em abundância e eram de fácil extração, inclusive metais como ouro e prata.

Com o passar dos anos o homem evoluiu e, junto com o crescimento populacional, houve um crescimento desenfreado de consumo de recursos naturais, inclusive àqueles relacionados à construção civil. Essa necessidade por matéria prima forçou o desenvolvimento de novas tecnologias para a extração desses recursos. Dentre elas podemos citar a dinamite, patenteada pelo o criador do prêmio Nobel, Albert Nobel, em 1867.

O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar ao leitor a complexidade associada às atividades de lavra que precedem o beneficiamento e obtenção dos agregados utilizados hoje na construção civil. Isso inclui, além de dados informativos sobre o procedimento de desmonte de rocha a céu aberto com o uso de explosivos, a aplicação desse procedimento em uma pedreira localizada em Tijucas, Santa Catarina, e uma breve análise dos custos de produção.

### 1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho é apresentar ao leitor quais as normas e procedimentos que antecedem a obtenção de agregados minerais no Brasil, tendo como foco o desmonte de rocha a céu aberto com uso de explosivos.

Como objetivos específicos desta pesquisa serão abordados:

- Fazer revisão bibliográfica sobre extração mineral no Brasil, bem como o uso de explosivos para tal fim;
- Apresentar as principais normas que regulamentam a extração de minerais;
- Apresentar relatório fotográfico acerca dos procedimentos de extração utilizados em uma pedreira localizada em Tijucas/SC;
- Apresentar considerações finais sobre o tema.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento da civilização humana está diretamente relacionado à exploração dos recursos naturais, que desde a pré-história já utilizava argila no preparo de artefatos de cerâmica, as rochas duras para a preparação de armas e objetos de corte, bem como ocos minerais para a confecção de pigmentos para utilização, sobretudo em pinturas e inscrições rupestres (GIL, 2005). Assim, observa-se a necessidade, da civilização humana, da extração de recursos naturais e sua transformação em ferramentas úteis à sua sobrevivência, e conseqüentemente, sua evolução ao mesmo tempo em que se aperfeiçoavam os processos de extração e transformação.

Ainda segundo Gil, (2005), na antiguidade os minerais serviam para a fabricação de ferramentas, armas e utensílios, bem como para a realização de grandes obras, como aquedutos, edificações religiosas, etc. Um dos antigos métodos de mineração, primeiramente documentado pelos romanos, consistia em acender fogo sobre as rochas que, com o calor intenso, se dilatavam e fraturavam, facilitando a sua fragmentação. Outras técnicas incluem ferramentas como picaretas e marretas, sistemas de bombeamento e ventilação, além de carros de mão para transporte do material extraído. Algumas dessas ferramentas podem ser observadas na Figura 1.

**Figura 1 - Ferramentas abandonadas na Mina de Podgórze, Polônia**



Fonte: Cudowny Świat (2017).

As inovações mais significativas na área de tratamento de minérios ocorreram com a descoberta da máquina a vapor, a partir do século XVIII. Pela metade do século XIX, em 1864, iniciou-se o emprego do tratamento de minérios como o ouro, cobre e chumbo. Nesta

época, a mineração, especialmente do carvão, foi o eixo central para o progresso da tecnologia industrial (GIL, 2005).

O progresso da técnica da mineração é marcado pelo uso da pólvora e mais tarde pela dinamite, em meados do século XIX e aperfeiçoada no século XX. O aprimoramento das técnicas de perfuração também ampliou a capacidade das atividades de mineração (GIL, 2005).

O final do século XIX e início do século XX são caracterizados na atividade de mineração como o marco dos grandes desenvolvimentos na área de beneficiamento, tendo como inovação mais importante, a utilização industrial da flotação, na Austrália, em 1905. Os avanços seguintes são relacionados ao aperfeiçoamento das tecnologias já desenvolvidas, direcionados ao design de equipamentos maiores e mais produtivos (1940-1970), à otimização dos processos pela automação e computação (1970-1990) e à racionalização do uso de energia (a partir de 1970) (GIL, 2005).

## 2.1 MINERAÇÃO NO BRASIL

A mineração no país constituiu-se uma das primeiras atividades econômicas desenvolvidas desde a descoberta do Brasil, por Pedro Álvares Cabral, em abril de 1500. Pero Vaz de Caminha deixou explícito o interesse da Coroa pela exploração dos minérios brasileiros em sua carta enviada ao Rei Dom Manuel, onde ele diz:

“Nela, até agora, não pudemos saber que haja ouro, nem prata, nem coisa alguma de metal ou ferro; nem lho vimos.”

(Pero Vaz de Caminha, 01 de maio de 1500.)

Para facilitar no processo de descoberta e exploração das terras brasileiras, foram criadas, entre os séculos XVII e XVIII, as expedições chamadas de Entradas e Bandeiras. As entradas eram responsáveis principalmente por fazer o mapeamento do território, enquanto as bandeiras tinham o objetivo principal de descobrir minas de ouro, prata e pedras preciosas (COSTA, 2009).

Segundo Barreto (2001), a demora em se descobrir jazidas, cerca de 200 anos após o descobrimento do Brasil, leva a crer que os interesses portugueses estavam voltados para outros recursos, como o pau-brasil, tabaco, açúcar e mão de obra escrava.

Segundo Costa (2009), no início do processo de colonização, eram exploradas as ocorrências das diversas substâncias minerais encontradas na superfície do solo. As massas retiradas eram muito pequenas devido aos métodos rudimentares adotados para sua extração. Por outro lado, as necessidades de produtos de origem mineral eram, naquele tempo, ainda muito pequenas, não impulsionando a pesquisa e implantação de novas tecnologias. As argilas, areia e cascalho constituíam a principal demanda, pois estavam ligados diretamente às atividades relacionadas à construção e crescimento das cidades.

Segundo Germany (2002), as ferramentas utilizadas para a extração desses materiais eram rudimentares e pouco resistentes, feitas normalmente de ferro caldeado. Afirma também que, durante o século XIX, era muitíssimo pequena a produção do ferro no Brasil, existindo apenas algumas forjas catalãs em Minas Gerais. O desenvolvimento tecnológico que ocorria na extração das rochas para os trabalhos de cantaria era pequeno, necessário apenas para atender aos artífices trazidos pelos colonizadores. Os diversos materiais de construção eram principalmente retirados dos aluviões e, quando de afloramentos rochosos, eram cuidadosamente desagregados com cunhas, acompanhando-se as clivagens, e amarrados ou cortados com ponteiros e marretas e, quando necessário, perfurados e detonados com pólvoras caseiras (GERMANY, 2002).

Ainda segundo Germany (2002), os primeiros garimpos foram feitos em São Paulo, no Vale da Ribeira, e os bandeirantes paulistas espalharam-se depois por Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. O ouro e os diamantes dos aluviões eram retirados manualmente com pás, lançando-os em calhas e depois bateados. Os rejeitos deste processo eram lançados manualmente em locais próximos. A Figura 2 ilustra o processo de mineração com a utilização de bateias naquela época.

Os veios que penetravam nas encostas eram explorados por meio de galerias perfuradas com ponteiros e malhos e, quando necessário, eram detonados com pólvora caseira. O minério era, em seguida, carregado por pás em carrinhos de mão. Os poços verticais ou inclinados, necessários para acompanhar as veios, eram perfurados da mesma forma, e o minério era içado por meio de baldes de madeira e sarilhos manuais. O transporte mais longo era feito em carroções por tração animal. As aberturas eram sempre de seções acanhadas, pouco iluminadas, dificultando o trabalho e causando danos à saúde dos operários (a maioria escravos) que nelas trabalhavam. A falta de conhecimento geológico dificultava sobremaneira o trabalho (GERMANY, 2002).

**Figura 2 - Escravo utilizando bateia na mineração de ouro**



Fonte: Percy Alfred Lau

O aperfeiçoamento das primeiras lavras surgiu durante o período de extração de ouro, no século XVIII. A princípio com a abertura da Mina da Passagem, em Mariana, em 1819, pelo Barão de Echewege, e em seguida por várias outras. A principal delas foi a Mina Velha da Saint John Del Rey Mining Co., em Nova Lima, em 1834, Minas Gerais. Essas duas minas citadas eram consideradas na época como exemplos no emprego de tecnologia e serviam de referência mundial, no que dizia respeito a lavras subterrâneas. De acordo com Germany (2002), supõe-se que essas minas tenham sido implantadas com a melhor técnica existente na época, trazida pelos engenheiros, seus capitães de mina e mineradores ingleses e alemães, treinados nos seus países de origem. Nesta época o Brasil foi considerado o primeiro grande produtor mundial de ouro (BARRETO, 2001). O ciclo do ouro teve fim pouco antes do final do século XVIII, com o esgotamento das minas superficiais.

Na década de 1950, foi implantada uma mina de manganês no Amapá, e iniciada também a nova fase de modernização das minas de Itabira em Minas Gerais, já com técnicos brasileiros e americanos, introduzido novas técnicas de perfuração e desmonte, uso de escavadeiras elétricas e caminhões fora de estrada (GERMANY, 2002).

Em 1942 foi criada a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), sendo considerada pioneira nas décadas de 1960 e seguintes, introduzindo novas técnicas de perfuração, escavadeiras e caminhões fora de estrada com capacidades cada vez maiores. Também investiu na aplicação de planejamento informatizado, controle de qualidade na lavra, com aplicação de geoestatística, mecânica de rochas aplicadas à estabilidade de taludes, deposição controlada de rejeitos, rebaixamento de lençol freático em minas, transporte de minério e

estéril por correias em ambos os sentidos e aproveitamento de minérios de baixo teor (GERMANY, 2002).

**Figura 3 - Classificação da produção e das reservas minerais brasileiras no mundo**

Minerais	Produção Brasileira	Posição no Ranking	Reservas Brasileiras	Posição no Ranking
Bauxita	14%	3º	6,8%	5º
Cobre	2%	5º	2%	13º
Rochas Ornamentais	7,7%	3º	5,6%	6º
Ouro	2,3%	12º	3,3%	9º
Minério de Ferro	17%	2º	11%	5º
Caulim	6,8%	5º	28%	2º
Manganês	20%	2º	1,1%	6º
Nióbio	98%	1º	98%	1º
Tantalita	28%	2º	50%	1º
Estanho	4,1%	5º	13%	3º
Zinco	2,4%	12º	0,85%	6º

Fonte: PNM 2030/IBRAM (2012).

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2012), atualmente, o Brasil está entre as nações com o maior potencial mineral e detém uma posição privilegiada no quadro das reservas mundiais, para uma diversificada gama de minerais metálicos e não-metálicos. Dados informativos do IBRAM revelam que, em 2012, o Brasil ostentou uma posição expressiva como detentor de grandes reservas minerais, com destaque para o nióbio (98%) como líder mundial e seguido pela tantalita (50%) que ocupa a segunda posição no ranking internacional, apresentado na Figura 3.

Na economia atual, temas como energia e matéria-prima, construção e habitação, mobilidade e transporte, agricultura e resíduos, são assuntos que envolvem a utilização de crescentes quantidades de materiais e minerais. Assim, mais do que nunca, a mineração está e estará ligada a qualquer opção que esta economia venha oferecer à sociedade (SOUZA, 2001).

## 2.2 EXTRAÇÃO PÉTREIA

A atividade da mineração, destacando-se aqui a exploração de rochas, tem apresentado um papel imprescindível para o desenvolvimento da engenharia e da construção civil no mundo inteiro. Segundo Pontes et al. (2016), a atividade de desmonte de rocha vem se

configurando como um dos principais elos da cadeia produtiva no ramo da extração mineral, com influência direta nas etapas de carregamento, transporte e beneficiamento.

O desmonte de rocha é definido por Gama (2003) como sendo o conjunto de processos utilizados para proceder a fragmentação de determinado volume de rocha do maciço rochoso. Esses processos podem ser subdivididos em desmonte de rochas a frio e a quente. A escolha do processo mais adequado se dá pelas propriedades físicas e químicas do maciço e também pelo meio em que a jazida está localizada, podendo ser em zonas rurais ou urbanas. Essas peculiaridades serão abordadas mais adiante.

### **2.2.1 Classificação do maciço**

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) apresenta uma classificação simplificada dos maciços rochosos, composta por três categorias de material e que requerem diferentes tipos de escavação, na Norma 106/2009:

- Material de primeira categoria: material composto de solo, alteração de rocha, aluviões e coluviões, materiais heterogêneos com blocos de até 1 m<sup>3</sup> e pode ser removido diretamente por equipamentos de escavação de porte variável;
- Material de segunda categoria: material composto de rochas mais ou menos rígidas, estratificadas, de diferentes graus de alteração, que devem ser desmontadas e desagregadas por equipamentos de diversos portes (tratores com escarificadores, rompedores, etc.) ou mesmo com emprego descontínuo de explosivos de baixa potência para posterior carregamento e remoção;
- Material de terceira categoria: material composto de rocha sã ou pouco alterada que não pode ser escavado pelos os dois métodos anteriores, necessitando o uso de explosivos.

A partir dessa classificação, nota-se que o método de escavação está diretamente relacionado à resistência da rocha e/ou ao custo benefício do método adotado.

### 2.2.2 Desmonte de rocha a frio

O desmonte de rocha a frio, ou escavação de rocha por desagregação, pode ser realizado de diversas formas e utilizando diferentes tipos de equipamentos e tecnologias. Segundo Ferreira (2013), o mais utilizado atualmente é a argamassa expansiva.

São realizadas perfurações na rocha e feito um preenchimento com argamassa expansiva. A argamassa se expande progressivamente, gerando tensões na rocha e causando a sua desagregação (FERREIRA, 2013). Este processo leva em torno de 24 horas e é muito utilizado quando a detonação por explosivos não é permitida (Figura 4).

**Figura 4 - Desmonte com argamassa expansiva**



Fonte: Chimica Edile.

Este tipo de desmonte geralmente é utilizado em áreas urbanas onde a utilização de explosivos não é permitida devido ao ruído, produção de poeira e aos riscos associados ao uso de explosivos.

### 2.2.3 Desmonte de rocha a fogo

O desmonte de rocha a fogo recebeu este nome devido ao uso de explosivos como meio de desagregação dos maciços rochosos. Este tipo de escavação requer uma maior atenção devido ao alto grau de periculosidade envolvido, além dos impactos gerados ao meio ambiente pela produção de gases, ruído e poeira (PEREIRA e SANTOS, 2016).

O objeto de estudo apresentado neste trabalho detalha o desmonte de rocha a fogo a céu aberto e suas particularidades. Por este motivo, as sessões seguintes serão dedicadas ao tema e apresentarão também a aplicação da tecnologia em uma pedreira.

## 2.3 DESMONTE DE ROCHA A CÉU ABERTO COM USO DE EXPLOSIVOS

A técnica de desmonte de rocha com o uso de explosivos surge de uma dificuldade relacionada com a desagregação de rochas muito rígidas ou pouco fraturadas, onde outros métodos não apresentam energia suficiente para a sua desagregação ou não se mostram eficientes para atingir a produção desejada com o melhor custo benefício. Por estes motivos, o uso de explosivos se tornou muito comum e sua tecnologia vem sendo aprimorada ao longo dos anos, principalmente desde as descobertas de Alfred Nobel, por volta de 1867, com a invenção da dinamite (NOBEL FOUNDATION).

### 2.3.1 Ensaios de caracterização da rocha

Os ensaios de caracterização da rocha são importantes no período de estudo e pesquisa da pedreira que se quer explorar, pois permite avaliar de forma mais precisa a viabilidade da exploração.

O principal ensaio a ser realizado antes da exploração de uma pedreira é a sondagem rotativa, cuja finalidade é determinar as características do embasamento rochoso ou as características e espessuras dos matacões ocorrentes, através de métodos de rotação imprimidos ao barrilete amostrador provido de coroa, recuperando-se testemunhos pétreos contínuos. As sondagens devem ser realizadas até uma profundidade julgada econômica para a exploração da pedreira (DAER-RS, 1994).

Todas as amostras recuperadas, incluindo-se os fragmentos, deverão ser cuidadosamente manipuladas para evitar qualquer dano às mesmas. Após a remoção das amostras, estas deverão ser colocadas em uma caixa de madeira apropriada, disposta de forma que a sequência exata de amostragem, no subsolo, seja conservada na caixa. À medida que as amostras, de cada etapa e de cada furo, vão sendo colocadas na caixa, um separador de madeira deverá ser interposto entre cada etapa, inclusive quando não forem conseguidas

amostras nos tacos de madeira, colocados nesses limites, deverão ser anotadas as profundidades correspondentes, além da indicação clara de qual era a extremidade superior de cada amostra. As caixas deverão ter compartimentos longitudinais de madeira no seu interior, sendo a largura dos compartimentos igual ao diâmetro dos testemunhos, com tampa, proporcionando, desta forma, ajustes e imobilidade daqueles durante a operação de manuseio e transporte da caixa (DAER-RS, 1994). Na Figura 5 temos um registro fotográfico dos testemunhos pertencentes à pedreira que será apresentada nas próximas seções.

**Figura 5 - Testemunhos da sondagem rotativa**



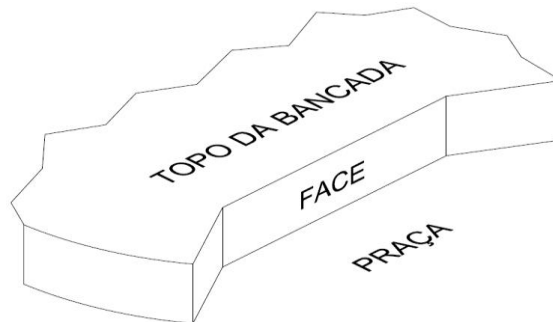
A partir desses testemunhos são realizados ensaios com o objetivo de caracterizar a qualidade da rocha a ser explorada, sendo eles: abrasão Los Angeles; lâmina petrográfica; adesividade a ligantes betuminosos; densidade real, sanidade ("soundness test") e absorção d'água.

### **2.3.2 Bancadas de exploração**

A maneira mais eficiente de exploração de uma pedreira é através da formação de bancadas, que podem ser definidas como degraus no maciço rochoso e permitem a exploração através do arrancamento de fatias de rocha. As bancadas são compostas por três superfícies características, ilustradas na Figura 6: a praça que é caracterizada pela superfície na qual operam os equipamentos de carga e transporte; a face é a superfície vertical ou levemente inclinada resultante do desmonte das fatias; o topo é o local onde operam os equipamentos de

perfuração, que abrem uma série de furos no maciço para a detonação da próxima fatia (RICARDO e CATALANI, 1990).

**Figura 6 - Configuração de uma bancada**



Em pedreiras com diversas bancadas, a praça de uma bancada é também o topo da bancada inferior.

Explorar a pedreira com a utilização de várias bancadas proporciona um número maior de frentes de exploração. Além disso, utilizar uma única bancada resulta em uma face muito alta, o que limita o equipamento de perfuração e pode não ser a solução mais viável economicamente.

### **2.3.3 Equipamentos**

Os principais equipamentos necessários à execução do desmonte de rocha não envolvem necessariamente apenas o processo de carregamento dos furos e detonação dos explosivos, mas começa muito antes com a limpeza do local e locação dos furos, e se estende até a etapa de uso e beneficiamento.

No processo de limpeza são utilizadas escavadeiras hidráulicas, e algumas vezes, essa limpeza é realizada de forma manual, retirando fragmentos de rocha que podem dificultar as etapas seguintes do plano de fogo. Após a limpeza, é feita a locação dos furos e suas profundidades com uma equipe de topografia, utilizando equipamentos como estação total, réguas e cordas.

Realizada a locação dos furos, chega o momento da perfuração do maciço para a inserção dos explosivos. Essa etapa requer a utilização de uma perfuratriz cujas dimensões de

haste e bits são compatíveis com o diâmetro e profundidade dos furos, especificado no plano de fogo.

O carregamento dos furos com material explosivo é feito quase de forma manual, e o material explosivo é transportado por um caminhão tanque específico, não necessitando de equipamentos adicionais além das ferramentas manuais.

Após a explosão, é necessário a utilização de uma escavadeira hidráulica e caminhões basculantes para o carregamento do material detonado. Essa escavadeira deve ter uma concha com dimensões compatíveis às dimensões dos fragmentos de rocha resultantes da detonação. Quando a detonação resulta em fragmentos de rocha com dimensões maiores que o previsto, é necessário utilizar um equipamento para quebrá-los em fragmentos menores. Atualmente, dois equipamentos muito utilizados são: o martelo rompedor ou uma bola de aço.

#### **2.3.4 Explosivos**

De acordo com Geraldi (2011), explosivos são substâncias, ou mistura de substâncias químicas em qualquer estado físico, que tem a propriedade de, ao ser iniciado por um agente externo, sofrer transformações químicas violentas e rápidas, transformando-se total ou parcialmente em gases, que resultam na liberação de grandes quantidades de energia em reduzido espaço de tempo.

Após realizada a perfuração das bancadas procede-se para o carregamento dos explosivos. As perfurações são feitas e carregadas com um determinado tipo de explosivo, sendo necessária para sua detonação um iniciador no interior da massa explosiva.

A escolha do tipo de explosivo é dependente das propriedades do maciço rochoso e dos resultados obtidos em detonações anteriores. A detonação deve resultar em fragmentos de rocha compatíveis com o tamanho da concha da escavadeira e também com as dimensões da boca do britador ao qual se destina o material detonado. O custo também deve ser levado em consideração.

Segundo Koppe (2012), os explosivos comerciais mais empregados no desmonte em pedreiras podem ser agrupados em duas categorias: ANFO e emulsões. Existe ainda um tipo de explosivo que mistura ANFO e emulsão, este tipo é chamado de blendados.

O ANFO é constituído essencialmente por nitrato de amônia (AN) e óleo combustível (FO). Outros elementos podem ser adicionados, como por exemplo, alumínio para aumentar a temperatura de reação, óxido de zinco e microbolhas de ar (MENDES, 2015). Possui densidade em sua maioria entre 0,8 e 0,9 g/cm<sup>3</sup> e aspecto pulverulento e granular. O ANFO é o explosivo mais utilizado em condições secas, devido a sua baixa performance no ambiente aquoso. O baixo custo do ANFO é responsável pela sua grande comercialização. No caso de rochas muito fraturadas, em condições secas, a preferência é, também, pelo ANFO (KOPPE, 2012).

Nas emulsões, gotas microscópicas de sais oxidantes, como nitratos de amônia, sódio e cálcio, estão dispersas em uma fase contínua de óleo, formando uma mistura do tipo água no óleo. Outros elementos podem ser adicionados, na matriz da emulsão, para controlar a densidade que em geral varia de 0,7 a 1,35 g/cm<sup>3</sup> (KOPPE, 2012). Quanto mais resistente for a rocha, de um modo geral, deve-se optar por um explosivo com maior densidade. Apresentam boa resistência a água e geralmente são embalados em cartuchos de filme plástico

A seleção de explosivos pode ser feita com base nas condições geológicas da jazida, principalmente, a existência d'água, fraturas e características de resistência da rocha. Quando há a água, deve se optar por emulsões e blendados. A seguir serão apresentados os dois tipos de emulsões, ilustradas na Figura 7.

#### *2.3.4.1 Emulsão Encartuchada*

As emulsões encartuchadas são explosivos que devido a sua consistência, facilitam o carregamento das perfurações, com alta variação das inclinações e níveis hidrostáticos, acomoda-se no furo proporcionando ótimas densidades de carregamento. Tem excepcional resistência à água, alto poder de ruptura e grande potência de detonação (RICARDO e CATALANI, 2007).

#### *2.3.4.2 Emulsão Bombeada*

São explosivos que preenchem totalmente o volume do furo, resultando em uma melhor distribuição e transmissão da energia para a rocha. A detonação dos explosivos é

auxiliada por um reforçador (booster). A facilidade na aplicação otimiza o ciclo de carregamento e reduz os custos com mão de obra. Sua aplicação é feita por unidades móveis de bombeamento, caminhões especiais (MANUAL BRITANITE, 2010).

**Figura 7 - Emulsão encartuchada e bombeada**



Não é aconselhável a sua utilização em maciços rochosos muito fraturados, pois a emulsão pode se espalhar pelas fraturas de modo que, no momento da explosão, a detonação de um furo pode acionar outro furo próximo, comprometendo o sequenciamento do fogo. Neste caso, podem ser utilizadas camisas de material plástico, que acomodam a emulsão perfeitamente no furo e evitam a fuga de material.

### **2.3.5 Acessórios**

Os dispositivos acessórios são tão importantes quanto o explosivo em si. Eles são os responsáveis pela iniciação do fogo e pela sequência de detonação, que garantirá a eficiência do plano de fogo.

Nas ligações entre os furos são utilizados os chamados cordéis detonantes. É a forma mais segura em desmontes a céu aberto porque não requer eletricidade. Por ser explosivo, dispensa espoletas e quando detona, age como escorva para as cargas explosivas, detonando-as também. O cordel detonante consiste em um núcleo de alto explosivo, o tetranitrito de penta-eritritol (PETN), que detona com velocidade de cerca de 7000 m/s (RICARDO e CATALANI, 1990). Pode possuir um múltiplo revestimento de fibras têxteis de PVC ou uma

camada de náilon, conforme o uso a que se destina. Tem aspecto externo de cabo elétrico e é vendido em rolos. As conexões podem ser feitas com fita isolante ou com nó padronizado. A iniciação do cordel detonante pode ser feita através de espoletas elétricas ou simples.

As espoletas simples consistem em uma cápsula de alumínio, fechada em uma extremidade, preenchida com um explosivo de base (PETN) e carga iniciadora de azida de chumbo. São sempre iniciadas por estopim comum, introduzido na outra extremidade da cápsula por meio de um alicate especial (RICARDO e CATALANI, 1990). São muito utilizadas em detonações onde há a necessidade ou é possível haver uma sequência de fogo, não sendo recomendadas em detonações simultâneas pois dificilmente os estopins atingiriam todas as espoletas ao mesmo tempo.

As espoletas elétricas são detonadas pela passagem de uma corrente elétrica com intensidade mínima para provocar a explosão. Permite detonar várias cargas ao mesmo tempo, podendo ser instantâneas ou detonar após um certo período de tempo após a passagem da corrente elétrica (RICARDO e CATALANI, 1990).

Os acendedores são acessórios responsáveis por iniciar as espoletas ou o próprio explosivo principal. Dentre eles podemos citar: estopim de segurança, estopim ultra-rápido, conectores para estopim, cordão ignitor e reforçadores (RICARDO e CATALANI, 1990).

Existem ainda os dispositivos de retardo, que são responsáveis pelo sequenciamento do fogo. Cada dispositivo produz um determinado retardo, sendo este definido em mili segundos.

Mais adiante serão apresentadas as figuras desses acessórios, quando for apresentado o relatório fotográfico do desmonte em uma pedreira.

### **2.3.6 Plano de fogo**

O plano de fogo é um documento que reúne todas as informações relevantes em uma detonação. Dentre elas, podemos destacar os itens apresentados a seguir. Todos os dados apresentados são valores utilizados usualmente que variam na literatura dependendo do autor, servindo como uma ordem de grandeza dessas variáveis ou até mesmo um referencial para as

atividades iniciais de lavra. Estes valores devem ser adaptados através do conhecimento empírico adquirido com as detonações anteriores.

### 2.3.6.1 Diâmetro das perfurações

É determinado em função do equipamento previsto para executar as perfurações. Esse equipamento, e o diâmetro do furo, devem estar coerentes com a altura da bancada e com os demais equipamentos de carregamento e beneficiamento da rocha detonada. Quanto maior o diâmetro do furo, maior é o consumo de material explosivo para preenchimento dos furos e menores são os fragmentos de rocha resultantes da detonação.

**Tabela 1 - Tipos de equipamentos de perfuração**

<b>Tipo de equipamento</b>	<b>Profundidade / Altura bancada</b>	<b>Diâmetro de perfuração</b>
Perfuratriz manual	até 4 m	1 ¼”
Bencher	até 6 m	1 ¼ “
Wagon-drill	3 - 9 m	1 ½” - 2 ½”
Perfuratriz sobre trator, coroa normal	6 - 18 m	2” - 5”
Perfuratriz sobre trator, furo-baixo	18 - 30 m	3 ½” - 7”
Conjunto de perfuração	30 - 60 m	4” - 10” (ou maior)

Segundo Ricardo e Catalani (1990), o valor máximo do diâmetro da perfuração em polegadas é igual a capacidade da caçamba do equipamento de carga em jardas cúbicas. Pois, como outras grandezas componentes do plano de fogo estão direta ou indiretamente relacionadas com o diâmetro da perfuração, as dimensões dos blocos resultantes da detonação também estão.

Na Tabela 1 estão contidos alguns exemplos de equipamentos de perfuração, associados aos seus possíveis diâmetros de perfuração e altura da bancada.

### 2.3.6.2 Afastamento

O afastamento (V) é a distância de duas linhas sucessivas de furos, paralelas à face da bancada. Também corresponde à distância entre a face da bancada e a primeira linha de furos.

Segundo Ricardo e Catalani (1990), o valor do afastamento teórico ( $V_t$ ) é estabelecido a partir da seguinte regra prática: o espaçamento é igual à 45 vezes o diâmetro da perfuração em milímetros. Entretanto, como ocorrem desvios originados pelo desalinhamento das perfurações, define-se um afastamento prático ( $V_p$ ) dependendo do número de linhas de perfurações, onde  $H$  é a altura da bancada em metros:

- Linha singela:  $V_p = V_t - 0,02H$
- Linhas múltiplas:  $V_p = V_t - 0,05H$

#### 2.3.6.3 *Espaçamento*

O Espaçamento ( $E$ ) é a distância entre os furos sucessivos de uma mesma linha de furos. Segundo Ricardo e Catalani (1990), o valor do espaçamento é estabelecido pela regra prática: o espaçamento é igual ao afastamento prático multiplicado por um fator que varia de 1 à 1,3, corrigindo, se necessário, a partir da observação dos resultados obtidos com as detonações anteriores. Koppe (2012) considera que a relação  $E/V = 1,4$  é um valor médio satisfatório, demonstrando que tais regras práticas podem variar muito de autor para autor, servindo apenas como base nas primeiras detonações e devendo ser adaptados conforme a qualidade da rocha e as dimensões dos equipamentos de carregamento e beneficiamento.

#### 2.3.6.4 *Tipo de malha*

Segundo Silva (2009), a geometria das malhas de perfuração pode ser quadrada, retangular ou estagiada. Dentro da classificação de malha estagiada, existe ainda a malha triângulo equilátero e a malha alongada. O tipo de malha estagiada também é popularmente conhecido como “pé de galinha”.

Nas malhas quadradas ou retangulares há uma agilidade no tempo de locomoção furo a furo, devido a sua geometria. Já nas malhas estagiadas, devido a geometria de furos alternados, há uma maior dificuldade na locomoção furo a furo, porém, possui melhor distribuição do explosivo no maciço rochoso (SILVA, 2009).

A experiência adquirida na área de desmonte de rocha usualmente indica que malhas estagiadas propiciam melhores resultados em termos de fragmentação e produtividade de carregamento do que malhas quadradas ou retangulares. (CAMERON E HAGAN, 1996).

Segundo Silva (2009), na malha estagiada triângulo equilátero, a relação E/V é de 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.

Ainda segundo Silva (2009), as malhas alongadas possuem uma relação E/V elevada e são indicadas para rochas friáveis/macias, aumentando o lançamento por possuírem menor afastamento. Experiências teóricas e, mais tarde, uma grande quantidade de aplicações práticas mostraram que a fragmentação da rocha melhorava sensivelmente com a utilização de relações de E/V maiores que 1,3, como foi apresentado na seção 2.3.5.3, chegando a um máximo de 8 (RICARDO e CATALANI, 1990).

#### *2.3.6.5 Inclinação dos furos*

Segundo Quaglio (2003), a perfuração de furos inclinados é uma operação que pode trazer muitas vantagens em relação à perfuração vertical, embora deve-se requerer maior precisão na sua execução para se evitar o comprometimento do desmonte. Entretanto, sempre que possível, deve-se optar pela perfuração inclinada.

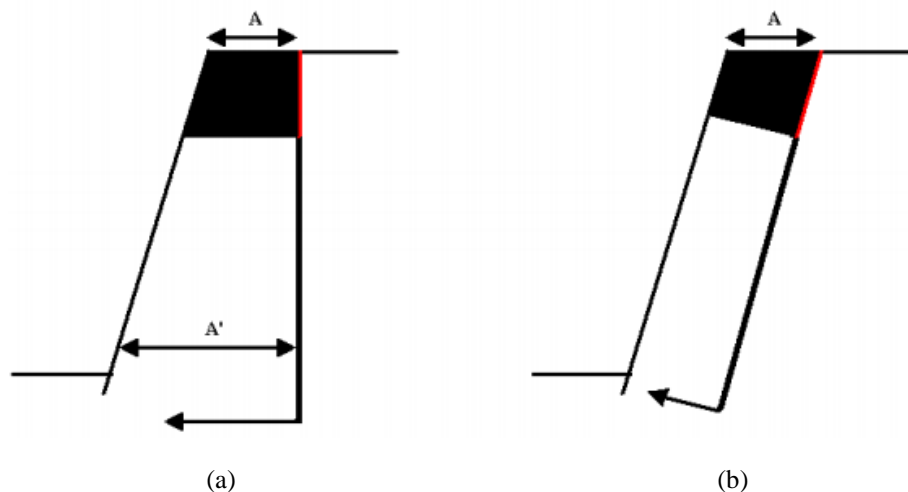
Algumas vantagens de se trabalhar com furos inclinados, ainda segundo Quaglio (2003), são: aumento da fragmentação na região do tampão; maior eficiência no arranque do pé da bancada pelo melhor aproveitamento das ondas de choque na parte crítica do furo, reduzindo a necessidade de subfuração; redução de ultra-quebra superficial; maior distância de lançamento da pilha de fragmentos; diminuição dos problemas de aumento do afastamento do pé da bancada; permite maior malha; permite redução da razão de carregamento que pode ser obtida pelo uso de explosivos de menor densidade; maior estabilidade da face da bancada; menor ultra arranque.

Algumas desvantagens de se trabalhar com furos inclinados, segundo Silva e Gomes (1998), são: menor produtividade da perfuratriz; maior desgaste de brocas, hastes e estabilizadores; maior custo de perfuração; maior comprimento de furo para uma determinada

altura da bancada; maior risco de ultra-lançamentos dos fragmentos rochosos; desgaste excessivo da coroa em ângulos acima de  $25^\circ$ .

Na Figura 8, a porção vermelha dos furos corresponde ao tampão dos furos, ou seja, não possui carga de fogo nessa região, e comparando-se os dois casos, observa-se que a área hachurada em (b), devido à inclinação, é menor que a área em (a). Isso significa que utilizando furos inclinados há uma região não carregada menor, diminuindo a possibilidade de formação de matacos. Nota-se ainda que o afastamento  $A'$  no pé do banco é maior que o afastamento  $A$  planejado. É importante observar também que no caso (a) a direção de atuação dos explosivos localizados no fundo do furo aponta para uma região de maior engastamento, enquanto que em (b) esta direção aponta para uma zona mais livre, favorecendo o arranque do pé (Quaglio, 2002).

**Figura 8 - Inclinação dos furos**



Fonte: Quaglio, 2002.

#### 2.3.6.6 Altura da bancada

A altura da bancada está diretamente relacionada ao número de bancadas, assim como à demanda de produção e aos equipamentos disponíveis envolvidos no processo de desmonte e carregamento. Segundo Quaglio (2003), bancadas muito altas devem ser evitadas devido a imprecisão da perfuração, à velocidade de perfuração efetiva que cai com o aumento da profundidade, há um aumento da altura da pilha de material e a um ligeiro aumento na razão de carga. A Tabela 1 mostra quais as alturas de bancadas estão associadas aos tipos de equipamentos de perfuração.

### 2.3.6.7 Profundidade de perfuração

A profundidade de perfuração é função da altura da bancada adicionada uma sobrefuração, ou seja, é recomendado prosseguir na perfuração além do plano da praça da bancada para evitar o que se chama de “repé”. O “repé” é a detonação insuficiente do pé da bancada. Portanto, a profundidade de perfuração incluindo a sobrefuração é dada pela Tabela 2, onde H é a altura da bancada e Vt é o afastamento teórico (RICARDO e CATALANI, 1990).

**Tabela 2 - Profundidades de perfuração com sobrefuração**

<b>Bancada</b>	<b>Profundidade de perfuração</b>
Vertical	$H + 0,3 Vt$
Inclinada 3:1	$1,05 H + 0,2 Vt$
Inclinada 2:1	$1,12 H + 0,2 Vt$

Fonte: Ricardo e Catalani, 1990.

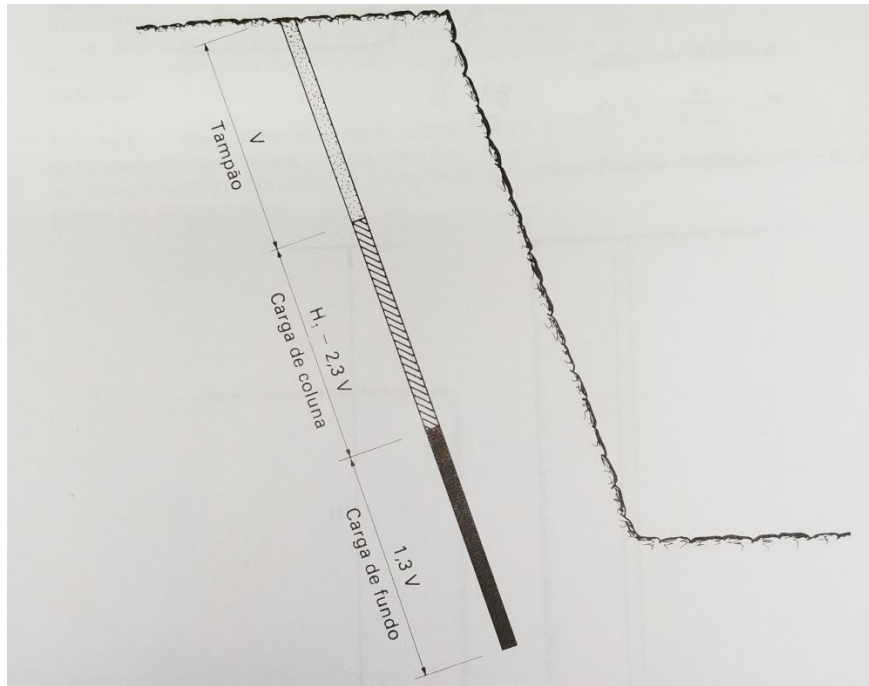
### 2.3.6.8 Carga de fundo e Carga de Coluna

A maior concentração de explosivo é necessária junto à parte inferior da perfuração, ao longo de uma região que caracteriza a carga de fundo. Segundo Ricardo e Catalani (1990), a extensão da carga de fundo, em metros, é dada pela seguinte regra: “A extensão da carga de fundo é igual ao afastamento teórico multiplicado por um fator igual a 1,3”

Chama-se concentração de carga de fundo a quantidade de explosivo em kg/m. É também chamada razão linear de carregamento, que é dada por: “A concentração da carga de fundo em g/m é igual ao quadrado do diâmetro do furo em mm” (RICARDO e CATALANI, 1990). Exemplo: Um furo com diâmetro de 3’’ =  $(76,20 \text{ mm})^2 = 5.806,44 \text{ g/m}$ .

A concentração da carga de coluna é de 40 a 50 % da carga de fundo. Seu comprimento varia com a profundidade do furo, carga de fundo e tampão. As vezes é necessária a introdução de espaçadores para se poder atingir a extensão da carga de coluna. Os espaçadores são segmentos de material inerte preenchendo os espaços entre as cargas explosivas para atender à extensão da carga de coluna (RICARDO e CATALANI, 1990).

**Figura 9 - Carregamento de um furo**



Fonte: Ricardo e Catalani, 1990.

### 2.3.6.9 Tampão

O tampão é o preenchimento da parte superior do furo não carregada com explosivo, mas com material inerte. Segundo Koppe et. al (2012), o material utilizado no tampão deve ser granular como, por exemplo, brita e o tamanho de partículas dependerá do diâmetro da furação. O pó de furação, embora muito utilizado, deve ser evitado como material do tampão. O tamponamento tem como objetivo evitar a perda de gases necessários durante a reação química da detonação, não permitindo que a energia se dissipe, além de evitar ultra lançamentos. Seu comprimento mínimo é definido pelo plano de fogo anexo ao Plano de Aproveitamento Econômico (PAE).

O tampão (T) pode ser dimensionado com valores entre 0,7 a 1,3 vezes o afastamento (B), recomenda-se iniciar com  $T$  (tampão) = B (afastamento). Caso haja preocupação com ultra lançamentos, em pedreiras próximas de áreas urbanas, recomenda-se aumentar o comprimento do tampão. O tamanho do material do tampão deve ser de  $1/8$  do diâmetro do furo (KOPPE et. al, 2012).

#### 2.3.6.10 Sequência de fogo

Segundo Ricardo e Catalani (1990), poderá ser vantajoso explodir, inicialmente, as minas junto ao centro da escavação e, após, aquelas próximas ao talude, em uma mesma linha de furos. Ter uma sequência de fogo é muito importante quando se quer limitar as vibrações causadas pelas explosões, ou ainda, quando se deseja taludes escavados com superfícies bem definidas. Haverá, assim, uma determinada sequência de fogo, que nada mais é que uma ordem cronológica na sucessão de detonações, separadas por intervalo de tempo em milissegundos.

Esses intervalos de tempo entre detonações é resultado do uso de dispositivos chamados de retardos. Atualmente, existe no mercado dispositivos com diferentes tempos de retardo e são diferenciados pela cor, que varia de acordo com o fabricante, chegando a uma gama de dispositivos com intervalos de tempo de 10 à 125 ms.

#### 2.3.6.11 Consumo de explosivo

O consumo é expresso em kg de explosivo por m<sup>3</sup> de rocha, e quase sempre em relação ao volume de rocha detonada. O volume de rocha detonada pode ser medido através do número de básculas cheias dos caminhões que efetuam o transporte, ou ainda, dado em relação ao volume medido no corte multiplicado pelo fator de empolamento da rocha detonada (RICARDO e CATALANI, 1990). O consumo de explosivo pode ser chamado de razão de carga, e também pode ser expresso em kg/ton.

A seguir, são indicados alguns valores de consumo de explosivos que variam em função do tipo de rocha, segundo Ricardo e Catalani (2007):

- Rocha Ígnea: 0,45 à 0,62 kg/m<sup>3</sup>;
- Rocha branda estratificada: 0,15 à 0,25 kg/m<sup>3</sup>;
- Rocha sedimentar dura: 0,40 à 0,50 kg/m<sup>3</sup>.

De forma prática, rochas mais fragmentadas requerem uma menor razão de carga comparada às rochas pouco fragmentadas. Segundo Ricardo e Catalani (2007), é possível diminuir o consumo de explosivos alterando o diâmetro das perfurações e a malha, isto é, o

afastamento e o espaçamento. Entretanto, é necessário verificar se essas alterações são economicamente vantajosas.

#### 2.3.6.12 *Produção por metro de perfuração*

Cada furo é responsável pelo desmonte de um volume determinado de rocha ao seu redor. Este volume é dado pela fórmula abaixo

$$v = V \cdot E / 2 \cdot H = V \cdot E \cdot H \quad [\text{m}^3]$$

onde, V é o afastamento, E é o espaçamento e H é a altura da bancada.

Sendo H1 a profundidade do furo, a produção por metro de furação é a razão entre o volume de rocha detonada e a profundidade do furo (RICARDO e CATALANI, 2007):

$$p = v / H1 \quad [\text{m}^3/\text{m}]$$

#### 2.3.6.13 *Escolha do Plano de Fogo*

A escolha do plano de fogo começa com a consideração das limitações do equipamento de perfuração disponível, como por exemplo a profundidade de perfuração e diâmetro do furo. A partir disso, é possível criar mais de um plano de fogo factível. A escolha do plano de fogo mais adequado deve ser experimentada na prática, adotando um plano de fogo que produza blocos de dimensões compatíveis com a finalidade do desmonte a um custo menor.

#### 2.3.6.14 *Custo de Perfuração e Detonação*

Segundo Ricardo e Catalani (2007), através dos valores de consumo de explosivos e dos metros de perfuração por metro cúbico de rocha detonada, facilmente se determina o custo da perfuração e detonação, através da fórmula

$$Ic = q . A + f . M$$

onde,  $Ic$  é o custo de perfuração e detonação;

$q$  é o consumo de explosivos por  $m^3$  de rocha no corte;

$A$  é o custo do Kg de explosivo;

$M$  é o custo por metro da perfuração;

$f$  são os metros de perfuração por  $m^3$  de rocha.

### 2.3.7 Impactos Ambientais

Dentre os problemas ambientais causados pelo desmonte de rocha a céu aberto com a utilização de explosivos, os mais significativos são os lançamentos de partículas juntamente com uma grande produção de poeira e ruído no momento da detonação. Esses impactos afetam, além dos funcionários da própria pedreira, a comunidade que vive ao seu entorno, quando é o caso de pedreiras localizadas em zonas urbanas. Existem também os impactos gerados à fauna e à flora existentes na região.

Para amenizar tais impactos é necessário primeiro quantificá-los, de forma a adotar a melhor medida mitigatória. Para isso, são realizados alguns ensaios que medem o nível de poeira nas proximidades do estabelecimento, além do nível ruído, ultra lançamento de partículas e vibrações produzidos no momento da explosão.

No que diz respeito à produção de poeira e lançamento de partículas, são adotadas camadas de cortina vegetal que funcionam como uma barreira entre a explosão e o que se quer proteger, retendo a passagem da poeira e contendo o lançamento de partículas pela vizinhança. Além disso, é necessário evacuar os arredores da área de desmonte, avisar a população próxima à essa área e manter avisos sonoros de atenção durante todo o procedimento. Com relação ao ruído, a adoção de uma cortina vegetal também atua como isolante acústico, de forma a reduzir interferências na fauna e incômodo à população vizinha.

Com relação à flora, com o esgotamento ou fechamento da pedreira, a área explorada deve ser recoberta com camada vegetal, de forma a recuperar a vegetação nativa pré-existente, conforme orientações da Agência Nacional de Mineração (ANM) e plano de lavra.

### 2.3.8 Beneficiamento

Agregados para Construção Civil são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para uso em obras de engenharia civil, tais como, a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e produtos industriais, entre outros. Os agregados são abundantes no Brasil e no mundo (LA SERNA e REZENDE, 2013).

A norma NBR 7211:2009 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Dessa forma, define areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira de 0,075 mm. Define ainda agregado graúdo como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira de 4,8 mm. O rachão beneficiado define-se como o material obtido diretamente do britador primário e que é retido na peneira de 76 mm. Já a bica corrida, segundo Albuquerque (1994), é o conjunto de britas, pedrisco e pó de pedra, sem graduação definida, obtido diretamente do britador, sem separação granulométrica. Existem ainda outros tipos de agregados com granulometrias bem definidas e uniformes, como é o caso das britas 1, 2, 3 e 4, distinguindo-se pelo tamanho da malha da peneira.

Segundo La Serna e Resende (2013), os agregados para construção civil são bens de baixo valor unitário, mas com os maiores volumes físicos de comercialização dentre todos os produtos da indústria mineral. Seus usos estão ligados às suas propriedades de granulometria e resistência, mas sem que a diferenciação no produto exista como estratégia relevante de concorrência. Aproximam-se mais do conceito microeconômico de bens homogêneos, o que acarreta um padrão de concorrência mais voltado à eficiência e redução dos custos.

Ainda segundo La Serna e Resende (2013), na produção nacional, predominam as minas de pequeno porte, um fato em parte explicado pela existência de micromercados regionalizados. Como os custos de transporte inviabilizam o comércio entre grandes distâncias, os mercados onde cada mina pode destinar sua produção ficam limitados. Nesse

caso, a escala de produção fica restrita aos volumes compatíveis com o que cada mercado regional pode absorver.

De acordo com os levantamentos de dados realizados pelo IBRAM, apresentados no Seminário Novos Desafios da Pesquisa, Política e Economia Mineral em 2018, os agregados utilizados na construção civil constituem o segundo bem mineral mais extraído em 2017, se aproximando muito da extração de minério de ferro, como pode ser observado na Figura 10. Nota-se também uma redução dessa produção mineral com relação aos dois anos anteriores, que pode ser explicada devido à um declínio do poder econômico do país e também ao desenvolvimento de novas tecnologias de reciclagem e reintrodução de rejeitos provenientes da construção civil como substituição de agregados.

**Figura 10 - Produção mineral do Brasil em toneladas**

BENS MINERAIS	Valores em toneladas * 2017	Valores em toneladas 2016	Valores em toneladas 2015
Água Mineral ( <i>leitura em Litros</i> )	10.000.000.000	9.500.000.000	9.500.000.000
Agregados Construção Civil	420.000.000	452.000.000	519.000.000
Minério de Ferro	430.000.000	400.000.000	400.000.000
Bauxita	35.000.000	32.000.000	32.000.000
Fosfato	6.800.000	6.800.000	6.800.000
Manganês	2.400.000	2.400.000	2.400.000
Alumínio Primário	1.000.000	962.000	962.000
Potássio Concentrado	460.000	460.000	460.000
Cobre Contido	335.000	300.000	250.000
Zinco Concentrado	240.000	230.000	250.000

Fonte: IBRAM, 2018.

Ainda segundo o IBRAM (2018), o consumo de agregados estimado para as principais finalidades na construção civil é o que segue:

- Para cada km de uma linha do metrô são consumidos 50.000 toneladas de agregados;
- Para cada km de estrada pavimentada são consumidos cerca de 9.800 toneladas;
- Em casas populares de 50 m<sup>2</sup> são consumidas 68 toneladas;
- Em edifícios são consumidos 1.360 toneladas para cada 1.000 m<sup>2</sup>.

Com isso, nota-se a importância da extração pétreo no Brasil, alinhado com o crescimento do setor da construção civil do país.

## 2.4 ÓRGÃOS E NORMAS REGULAMENTADORAS BRASILEIRAS

No que diz respeito à regulamentação da prática minerária, existem dois órgãos que auxiliam na regulamentação e cumprimento das leis e normas existentes. O primeiro deles é a Agência Nacional de Mineração (ANM), responsável pela gestão da atividade de mineração e dos recursos minerais brasileiros. O segundo é o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), uma organização privada sem fins lucrativos, que atua como representante das empresas e instituições atuantes no setor mineral. Cada uma delas será mais bem descrita nas seções 2.4.1 e 2.4.2.

Devido ao alto risco envolvido nas atividades de mineração, foram criadas 3 conjuntos de normas. O primeiro deles são as Normas Regulamentadoras (NR), que dizem respeito à segurança do trabalho e que possui um item específico de Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração, a NR 22. Além desta, temos também as Normas Regulamentadoras da Mineração (NRM), trazendo outras recomendações pertinentes e a instrução normativa IN 7 do Instituto do Meio Ambiente (IMA) que trata das questões ambientais. Cada uma delas será discutida a seguir, levantando os principais pontos relacionados ao desmonte de rocha a fogo, a céu aberto.

### 2.4.1 ANM

A Agência Nacional de Mineração, que substituiu o antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em 2017, é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, responsável pela gestão da atividade de mineração e dos recursos minerais brasileiros.

Tem por finalidade gerir a exploração dos recursos minerais da União, por delegação de competência constitucional, de maneira racional buscando a sustentabilidade. A ANM é responsável pela outorga de títulos para exploração de bens minerais tendo no direito de prioridade à obtenção da autorização de pesquisa ou do registro de licença, atribuído ao interessado, cujo requerimento tenha por objeto área considerada livre para a finalidade pretendida.

A ANM é responsável pela fiscalização dos empreendimentos de pesquisa mineral e lavra com vistas a assegurar a realização da exploração dirigida para a descoberta de novas jazidas e garantir o seu aproveitamento racional, por meio de uma mineração tecnicamente adequada, com segurança operacional e boa condição de higiene e saúde do trabalhador, minimizando o impacto ambiental e local, em áreas tituladas, bem como combater a extração mineral não autorizada, evitando o crime de usurpação de um bem da União, em cumprimento ao Código de Mineração e legislação minerária em vigor.

Também fiscaliza e monitora a arrecadação das receitas da Autarquia, visando assegurar os recolhimentos corretos dos valores a serem pagos pelos contribuintes, bem como a recuperação de créditos não pagos.

A agência também atua no planejamento das ações da Autarquia, elaborando informações e estatísticas da mineração e acompanhando o setor mineral com o objetivo de estabelecer diretrizes para atuação da instituição. Uma série de publicações pode ser consultada por meio do site da entidade.

#### **2.4.2 IBRAM**

O Instituto Brasileiro de Mineração é uma organização nacional privada e sem fins lucrativos que representa as empresas e instituições que atuam no setor mineral em busca do estabelecimento de um ambiente favorável aos negócios, à competitividade e ao desenvolvimento sustentável. Para fomentar a inovação no setor, bem como a difusão das melhores práticas e tecnologias disponíveis no mercado, elabora debates, eventos, estudos, pesquisas e estatísticas relativos à economia mineral, tributação, legislação, tendências, riscos e oportunidades e outros temas associados às atividades desempenhadas pela indústria minerária.

Fundado em 10 de dezembro de 1976, o IBRAM construiu credibilidade nos cenários político, econômico e social, em razão de sua atuação ética e experiência técnica. Com foco na promoção do desenvolvimento sustentável e na difusão das melhores práticas de segurança e saúde ocupacional, o instituto representa as principais empresas e instituições ligadas ao setor mineral.

Divulgar e incrementar a capacidade tecnológica e de recursos humanos empregados na mineração também são missões do Instituto. Além de defender a sustentabilidade, o respeito ao meio ambiente e aos recursos hídricos, o IBRAM visa a melhoria da qualidade de vida da sociedade, em particular, das comunidades onde existe atividade minerária e das populações que estão mais próximas ou diretamente relacionadas às minas.

Destaca-se, ainda, sua atuação junto a diferentes segmentos econômicos e atores públicos, como os poderes Executivo, Legislativo e Judiciário, tanto no plano federal como no estadual, Organizações Não Governamentais (ONGs), entidades empresariais e de trabalhadores para fortalecer a confiança da sociedade brasileira no trabalho realizado por profissionais e empresas mineradoras. O IBRAM relaciona-se também com organismos e entidades no exterior e é associado ao Conselho Internacional de Mineração e Metais (ICMM ou International Council on Mining & Metals).

### **2.4.3 Código de Mineração**

O Código de Mineração foi criado pelo Decreto-lei nº 227, de 28 fevereiro de 1967 e disciplina a administração dos recursos minerais pela União, a indústria de produção mineral e a distribuição, o comércio e o consumo de produtos minerais no Brasil.

Ele determina, em seu artigo 1º, que compete à União administrar os recursos minerais, a indústria de produção mineral e a distribuição, o comércio e o consumo de produtos minerais.

Este código regula também os direitos sobre as massas individualizadas de substâncias minerais ou fósseis, encontradas na superfície ou no interior da terra formando os recursos minerais do País; o regime de seu aproveitamento, e a fiscalização pelo Governo Federal, da pesquisa, da lavra e de outros aspectos da indústria mineral.

Em seu artigo 7º, determina também que o aproveitamento das jazidas depende de alvará de autorização de pesquisa, do Diretor-Geral do DNPM, e de concessão de lavra, outorgada pelo Ministro de Estado de Minas e Energia.

#### 2.4.4 NRM

As Normas Reguladoras de Mineração foram elaboradas pelo antigo DNPM e têm por objetivo disciplinar o aproveitamento racional das jazidas, considerando-se as condições técnicas e tecnológicas de operação, de segurança e de proteção ao meio ambiente, de forma a tornar o planejamento e o desenvolvimento da atividade minerária compatíveis com a busca permanente da produtividade, da preservação ambiental, da segurança e saúde dos trabalhadores.

Também constituem uma base para a elaboração e análise dos seguintes documentos, de apresentação obrigatória à ANM:

- Plano de Pesquisa;
- Requerimento de Guia de Utilização;
- Requerimento de Registro de Extração;
- Requerimento de Grupamento Mineiro;
- Relatório Final de Pesquisa;
- Plano de Aproveitamento Econômico – PAE;
- Plano de Lavra – PL;
- Relatório Anual de Lavra – RAL;
- Plano de Fechamento, Suspensão e Retomada das Operações Mineiras;
- Plano de Controle de Impacto Ambiental na Mineração – PCIAM;
- Projetos especiais e cumprimento de exigências.

O Requerimento de pesquisa é necessário para a obtenção do Alvará de Pesquisa. Neste requerimento estão contidos os dados do requerente, sendo ele pessoa física ou jurídica, a designação da substância a ser pesquisada, assim como a localização e todos os dados referentes a área a ser explorada, como a identificação do proprietário do terreno, a extensão da superfície em hectares (ha), a profundidade máxima e o plano de trabalho da pesquisa contendo orçamento e cronograma, juntamente com a ART do profissional responsável por sua elaboração.

Após a emissão do alvará de pesquisa, o titular está autorizado a realizar a pesquisa em um prazo de 2 a 3 anos. Os trabalhos de pesquisa têm como meta definir uma jazida, ou seja, qualificar, quantificar e localizar espacialmente a substância mineral de interesse e no prazo de vigência da autorização deverá ser entregue um relatório dos trabalhos realizados, elaborado por geólogo ou engenheiro de minas, à ANM. Este relatório deve conter estudos

geológicos e tecnológicos necessários à definição da jazida e demonstrativos da exequibilidade técnico-econômica da lavra.

A ANM verificará exatidão deste relatório e no caso de aprovação será aberto um prazo de 01 ano, a partir da publicação do ato no Diário Oficial da União, para que o titular do alvará, se pessoa jurídica, requeira a Concessão de Lavra. Caso o titular do alvará seja pessoa física, deve ceder os direitos de requerer a lavra à pessoa jurídica, dentro do período acima mencionado.

O requerimento de lavra deverá ser dirigido pelo titular da Autorização de Pesquisa, ou seu sucessor, ao Ministério de Minas e Energia, entregue mediante recibo no protocolo da Superintendência da ANM em cuja jurisdição encontra-se a área, bem como instruído principalmente com os seguintes elementos de informação e prova: designação das substâncias minerais a lavrar com indicação do Alvará de Pesquisa outorgado e da aprovação do respectivo Relatório de Pesquisa, informações sobre a localização e fronteiras do campo pretendido para a lavra, inclusive a ocorrência de rios, córregos e estradas, definição gráfica da área pretendida, delimitada por poligonal amarrada a um ponto fixo do terreno e com indicativo das propriedades territoriais interessadas juntamente com os nomes de seus respectivos superficiários. Além disso, deve-se anexar o Plano de Aproveitamento Econômico (PAE) da jazida, com descrição das instalações de beneficiamento, acompanhada da ART do engenheiro de minas responsável pela sua elaboração. Deve-se também apresentar uma prova de disponibilidade de fundos ou da existência de compromissos de financiamento, necessários para a execução do Plano de Aproveitamento Econômico. Além disso, também devem ser apresentados o Plano de Resgate e Salvamento, o Plano de Controle de Impactos Ambientais na Mineração (PCIAM), o Plano de fechamento de Mina e as licenças de instalação pelo IMA

No Plano de Aproveitamento Econômico deverá constar o memorial explicativo, projetos e anteprojetos referentes ao método de mineração, fazendo referência a escala de produção inicial e suas projeções, adoção de medidas relacionadas a segurança do trabalho, transporte, beneficiamento e aglomeração do minério, instalações de água e energia elétrica, entre outros itens necessários à descrição completa de todos os processos envolvidos na atividade de mineração.

A documentação referente ao requerimento de lavra será analisado pela ANM e, estando bem instruída, ensejará a Concessão pelo Ministro de Minas e Energia de uma

Portaria, documento necessário a que o interessado obtenha a licença de operação junto a CPRH; e possa fazer o aproveitamento da substância mineral de interesse.

#### **2.4.5 IN 07**

Para o Estado de Santa Catarina, a instrução Normativa número 07 da antiga FATMA, que agora se tornou o IMA, tem como objetivo definir a documentação necessária ao licenciamento e estabelecer critérios para apresentação dos planos, programas e projetos ambientais para implantação de atividades de mineração de pequeno, médio e grande porte, incluindo tratamento de resíduos líquidos, tratamento e disposição de resíduos sólidos, ruídos, vibrações e outros passivos ambientais.

A Licença Ambiental é um ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

A IN 07 apresenta, em seu capítulo V, as diretrizes específicas para mineração em pedreiras, apresentadas a seguir:

1. Da extração mineral: A extração de rochas deve ser realizada rigorosamente conforme previsto no plano de avanço de lavra, sendo que qualquer alteração deve ser previamente comunicada ao órgão ambiental. Deve-se promover o decapeamento em concomitância com o avanço da lavra, de modo a reduzir processos erosivos.

2. Das bancadas: O dimensionamento dos taludes e bermas devem demonstrar e garantir a estabilidade geotécnica do maciço rochoso. A atividade de mineração deve ser conduzida a partir das cotas mais altas para as mais baixas.

3. Do sistema de drenagem: Os empreendimentos devem contar com redes de drenagem na crista do talude superior e na base deste e dos demais, para evitar erosão e/ou escorregamento nas encostas. Quando necessário deverá ser instalado dissipadores de energia. As águas pluviais oriundas do sistema de drenagem devem ser canalizadas para bacias de

decantação e posteriormente desviadas para local adequado. As bacias de decantação deverão ser monitoradas com limpezas periódicas a fim de garantir a sua eficiência.

4. Da distância mínima entre a área de extração e os limites da propriedade: Deverá ser respeitada uma distância mínima, não inferior a 10 (dez) metros, de modo a garantir a estabilidade geotécnica das áreas limítrofes à área de extração. Esta distância mínima poderá ser revista pela FATMA mediante justificativa técnica.

5. Da distância entre a área de extração e as bordas das matas: A distância entre a borda da mata e a área de extração deve ser fixada por ocasião do licenciamento, de acordo com as condições locais de modo a garantir a estabilidade geotécnica da encosta e a integridade da vegetação existente.

6. Da distância de estruturas e edificações: Deve se observada e mantida a distância mínima estabelecida pelos respectivos órgãos competentes em relação a estruturas de pontes, viadutos, túneis, rodovias, elevados, passarelas de pedestres, linhas de transmissão, dutos, entre outros. Deve-se realizar a manutenção de distância mínima de edificações de modo a não comprometer sua integridade física, devido à atividade minerária.

7. Do desmonte de rocha com o uso de explosivos: As licenças ou autorizações relativas ao uso de explosivos devem ser providenciadas pelo empreendedor junto aos órgãos competentes. O desmonte de rocha com o uso de explosivo deve atender ao especificado na Norma NBR 9653:2018 - Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas. Esta norma especifica os limites de ultralancamento, pressão acústica e vibrações decorrentes do uso de explosivos, além de recomendações relacionadas ao conforto ambiental, como por exemplo, a implantação de um sistema de informação à população.

8. Da disposição de rejeitos e material estéril: Material estéril e rejeitos devem ser dispostos de modo planejado e controlado em condições de estabilidade geotécnica, dentro dos limites da área útil de mineração. Devem ser adotadas medidas para se evitar processos erosivos e o arraste de sólidos para o interior de rios, lagos ou outros corpos d'água. É vedada a disposição em áreas protegidas por lei, bem como no interior de corpos ou cursos d'água e nascentes.

9. Da poeira fugitiva: Deve ser efetuada a umidificação das áreas fontes geradoras de poeiras, bem como dos acessos particulares e públicos.

10. Da cortina vegetal: Os empreendimentos devem contar com cortina vegetal com objetivo de minimizar o impacto visual, propagação de ruídos e poeiras.

11. Da recuperação ambiental da área: A recuperação ambiental deve ocorrer concomitante ao processo extrativo. Ao findar das atividades extrativas toda a área de lavra, obrigatoriamente, deve estar recuperada, bem como os acessos existentes em APP. O Plano ou Projeto de Recuperação de Área Degradada (PRAD) deve ser elaborado conforme especificação.

#### **2.4.6 NR 22**

Esta Norma Regulamentadora tem por objetivo disciplinar os preceitos a serem observados na organização e no ambiente de trabalho, de forma a tornar compatível o planejamento e o desenvolvimento da atividade mineira com a busca permanente da segurança e saúde dos trabalhadores.

A norma apresenta, em seu item 22.3, as responsabilidades da empresa ou permissionária de lavra garimpeira, orientando a interromper todo e qualquer tipo de atividade que exponha os trabalhadores a condições de risco grave e iminente para sua saúde e segurança, além de garantir a interrupção das tarefas, quando proposta pelos trabalhadores, em função da existência de risco grave e iminente, desde que confirmado o fato pelo superior hierárquico, que diligenciará as medidas cabíveis e fornecer às empresas contratadas as informações sobre os riscos potenciais nas áreas em que desenvolverão suas atividades. Também é de responsabilidade da empresa ou permissionária da lavra garimpeira, a coordenação da implementação das medidas relativas à segurança e saúde dos trabalhadores das empresas contratadas e proverá os meios e condições para que estas atuem em conformidade com a NR 22.

A NR 22 apresenta também, em seu item 22.21, orientações exclusivas para operações com explosivos e acessórios, que serão apresentadas ao longo desta seção.

Todas as operações envolvendo explosivos e acessórios devem observar as recomendações de segurança do fabricante. O manuseio e utilização de material explosivo devem ser efetuados por pessoal devidamente treinado, respeitando-se as normas do Departamento de Fiscalização de Produtos Controlados do Ministério da Defesa.

Em cada mina, onde seja necessário o desmonte de rocha com uso de explosivos, deve estar disponível o plano de fogo, no qual conste a disposição e profundidade dos furos, quantidade de explosivos, tipos de explosivos e acessórios utilizados, sequência das detonações, razão de carregamento, volume desmontado e tempo mínimo de retorno após a detonação. A elaboração e execução do plano de fogo, operações de detonação e atividades correlatas devem ser supervisionadas ou executadas pelo blaster. O blaster também é responsável por:

- Ordenar a retirada dos paióis ou depósitos, transporte e descarregamento dos explosivos e acessórios nas quantidades necessárias ao posto de trabalho a que se destinam;
- Orientar e supervisionar o carregamento dos furos, verificando a quantidade carregada e a sequência de fogo;
- Orientar a conexão dos furos carregados com o sistema de iniciação;
- Certificar que não haja mais pessoas na frente de desmonte, antes de ligar o fogo e retirar-se;
- Certificar-se da inexistência de fogos falhados e, se houver, adotar as providências;
- Comunicar ao responsável pela área ou frente de serviço o encerramento das atividades de detonação.

A localização, construção, armazenagem e manutenção dos depósitos principais e secundários de explosivos e acessórios devem estar de acordo com a regulamentação vigente, do Ministério da Defesa. Nos acessos dos depósitos de explosivos e acessórios devem estar disponíveis dispositivos de combate a incêndios e devem ser sinalizados com placas de advertência contendo a menção “EXPLOSIVOS”. O acesso a estes locais só pode ser liberado ao pessoal devidamente qualificado, treinado e autorizado pela empresa ou Permissionário de Lavra Garimpeira ou acompanhado de pessoa, que atenda a estas qualificações.

O consumo de explosivos deve ser controlado por intermédio dos mapas previstos na regulamentação vigente, do Ministério da Defesa. Em todos os depósitos de explosivos e acessórios devem ser anotados os estoques semanais destes materiais, sendo que os registros devem ser examinados e conferidos periodicamente pelo blaster e pelo engenheiro responsável pela mina. Explosivos e acessórios não usados devem retornar imediatamente aos depósitos respectivos. Já os explosivos comprometidos em seu estado de conservação, inclusive os oriundos de fogos falhados, devem ser destruídos, conforme regulamentação vigente do Ministério da Defesa e instruções do fabricante.

Os Explosivos e acessórios devem ser estocados em suas embalagens originais ou em recipientes apropriados e sobre material não metálico, resistente e livre de umidade, não podendo estar em contato com qualquer material que possa gerar faíscas, fagulhas ou centelhas.

O transporte de explosivos e acessórios deve ser realizado por veículo dotado de proteção, que impeça o contato dos mesmos com partes metálicas e que atenda à regulamentação vigente do Ministério da Defesa, observadas as recomendações do fabricante. O carregamento e descarregamento devem ser feitos com o veículo desligado e travado e o transporte manual deve ser feito utilizando recipientes apropriados. É proibido o transporte de explosivos e cordéis detonantes simultaneamente com acessórios e outros materiais bem como com pessoas estranhas à atividade. Os trabalhadores envolvidos no transporte devem receber treinamento específico para realizar sua atividade.

O desmonte com uso de explosivos deve ser precedido do acionamento de sirene, no caso de mina a céu aberto. A área de risco deve ser evacuada e devidamente vigiada, com horários de fogo previamente definidos e consignados em placas visíveis na entrada de acesso às áreas da mina. Deve-se dispor de abrigo para uso eventual daqueles que acionam a detonação e seguir as normas técnicas vigentes e as instruções do fabricante. É proibida a detonação a céu aberto em condições de baixo nível de iluminação ou quando ocorrerem descargas elétricas atmosféricas.

Somente ferramentas que não originem faíscas, fagulhas ou centelhas devem ser usadas para abrir recipientes de material explosivo ou para fazer furos nos cartuchos. No carregamento dos furos é permitido somente o uso de socadores de madeira, plástico ou cobre. É proibida a escorva de explosivos fora da frente de trabalho. A fixação da espoleta no pavio deverá ser feita com instrumento específico a este fim. É proibido utilizar fósforos, isqueiros, chama exposta ou qualquer outro instrumento gerador de faíscas, fagulhas ou centelhas durante o manuseio e transporte de explosivos e acessórios.

Os instrumentos e equipamentos utilizados para detonação elétrica e medição de resistências devem ser inspecionados e calibrados periodicamente, mantendo-se o registro da última inspeção. Os fios condutores, utilizados neste tipo de detonação, devem ser de cobre ou ferro galvanizado, estar isolados e possuir resistividade elétrica abaixo da estabelecida para o circuito. Esses fios não podem conter emendas e devem ser mantidos em curto circuito até sua conexão aos detonadores. Devem ser conectados ao equipamento de detonação pelo blaster

somente após a retirada do pessoal da frente de detonação e possuir comprimento adequado, que possibilite uma distância segura para o encarregado.

O retorno à frente detonada só será permitido com autorização do responsável pela área e após verificação da dissipação dos gases e poeiras, observando-se o tempo mínimo determinado pelo projeto de ventilação e plano de fogo, e da confirmação das condições de estabilidade da área e da marcação e eliminação de fogos falhados.

Na constatação ou suspeita de fogos falhados no material detonado, após o retorno das atividades, os trabalhos devem ser interrompidos imediatamente e o local deve ser evacuado, informando ao encarregado-de-fogo para a adoção das providências cabíveis. A retirada de fogos falhados só poderá ser executada pelo blaster ou, sob sua orientação, por pessoal qualificado e treinado, através de dispositivo que não produza faíscas, fagulhas ou centelhas. Os explosivos e acessórios remanescentes de um carregamento ou que tenham falhado devem ser recolhidos a seus respectivos depósitos, após retirada imediata da escorva entre eles e utilizando-se recipientes separados. É proibido o aproveitamento de restos de furos falhados.

### 3. ESTUDO DE CASO

Este trabalho tem como principal objetivo apresentar todos os processos envolvidos no desmonte de rocha a céu aberto utilizando explosivos. Após ser apresentada todas as informações teóricas essenciais ao entendimento do tema, será apresentado a seguir a aplicação de tais conceitos em uma pedreira localizada em Santa Catarina.

A pedreira está localizada no município de Tijucas, pertencente à Serra do Cabo Frio, a uma distância de 53 Km do centro de Florianópolis. A poligonal onde a pedreira está inserida possui uma área de 50 ha, com expectativa de exploração de até 74 anos, a partir de 2012.

A Figura 11 demonstra, de forma geral, as características gerais da pedreira, com a distinção bem definida de suas 8 bancadas de exploração.

**Figura 11 - Pedreira situada no município de Tijucas, Santa Catarina**



A substância mineral explorada é o granito, uma rocha ígnea utilizada em sua maioria para a produção de agregados para construção civil. Por isso, a pedreira conta com um sistema completo de beneficiamento, sendo capaz de produzir agregados de todos os tamanhos, além de uma usina de solos e asfalto. As instalações de beneficiamento podem ser observadas na Figura 12.

**Figura 12 - Instalações da pedreira situada no município de Tijucas, Santa Catarina**



### 3.1 DECAPEAMENTO

A preparação do terreno para início das operações de lavra, em uma pedreira, constitui uma fase bastante delicada para o bom andamento dos futuros trabalhos de desmonte da rocha. Nessa fase, é importante se preservar parte do solo removido durante o decapeamento para posterior recuperação da área lavrada, devendo ser reservada uma área adequada à estocagem desse material.

Os equipamentos que são utilizados nesse processo incluem: tratores de esteira, carregadeiras frontais, escavadeiras e caminhões.

### 3.2 LIMPEZA DA SUPERFÍCIE E MARCAÇÃO DOS FUROS

Antes de realizar a marcação dos furos deve-se garantir que a superfície a ser perfurada esteja livre de fragmentos de rocha que possam atrapalhar a marcação ou a perfuração.

A equipe de topografia realiza a locação dos furos com o auxílio de equipamentos topográficos tais como estação total, prisma e mira, deixando sobre o local do furo uma pedra onde está anotada a sua profundidade, conforme ilustrado nas Figura 13 e 14.

**Figura 13 - Marcação dos furos**



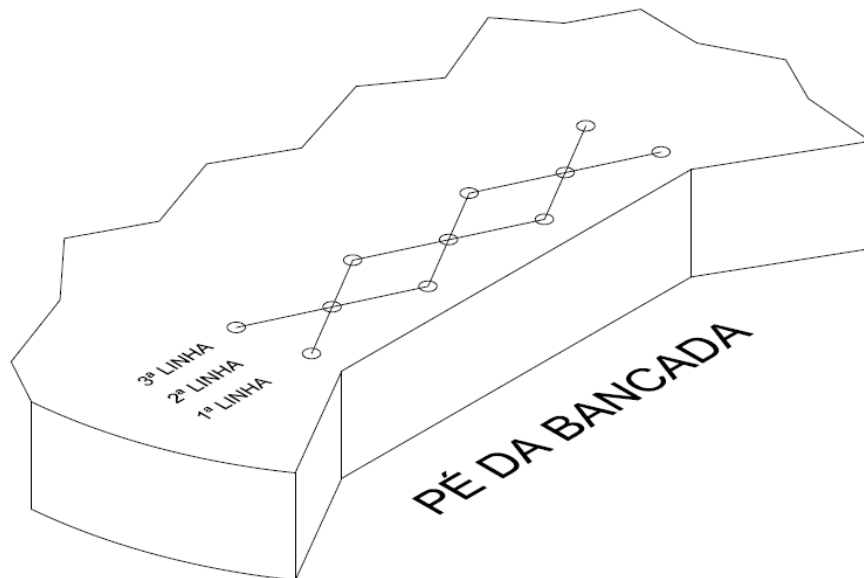
Em planos de fogo com mais de 2 linhas de explosivos são realizadas as marcações das linhas extremas e, posteriormente, feita a marcação dos furos intermediários. Essa forma de marcação, é feita devido ao tipo da malha adotada, chamada de malha estagiada ou “pé de galinha”. Os furos da linha intermediária devem estar perfeitamente centralizados com relação aos furos das linhas extremas, de modo a otimizar a ação do explosivo.

**Figura 14 - Marcação dos furos por topografia**



Por exemplo, no caso de uma detonação com 3 linhas de furos, como na Figura 14, devem ser marcados inicialmente os furos da 1ª linha com um afastamento  $V_p$  da face da bancada e, em seguida, os furos da 3ª linha com um afastamento duplo ( $2V_p$ ) da primeira linha. Com estas duas linhas marcadas inicia-se a marcação da 2ª linha, intermediária às duas primeiras. Para isso, são traçadas duas retas imaginárias em formato de X, com o auxílio de uma corda, e no centro desse X é marcado o primeiro furo da 2ª linha. E assim, sucessivamente, são marcados os demais furos da 2ª linha.

**Figura 15 - Malha estagiada “pé de galinha”**



O afastamento  $V_p$  é marcado a partir de uma superfície plana rente à parede da bancada. Tanto o afastamento quanto o espaçamento obedecem ao plano de aproveitamento econômico (PAE), apresentado na Agência Nacional de Mineração (ANM). A relação entre o espaçamento e o afastamento adotada é de 1,5, caracterizando a malha como alongada. A adoção dessa relação se deve ao fato de serem observados melhores resultados em detonações anteriores, relacionados com o tamanho do britador utilizado, já que a utilização de uma malha alongada resultou em uma quantidade menor de matacos.

Na Tabela 3 estão contidos alguns dos parâmetros apresentados no PAE, que foi readequado em 2012. Nela podemos observar que a profundidade do furo é, como mencionado na Seção 2.3.6.7, maior que a altura da bancada, com objetivo de evitar os chamados “repés”.

Tabela 3 - Parâmetros do plano de fogo determinados do PAE

	Variável e unidade	Parâmetros Calculados
<b>Altura da bancada</b>	H (m)	11,00
<b>Diâmetro do furo</b>	D (mm)	76,20 (3 pol)
<b>Inclinação da face da bancada</b>	graus	15,00
<b>Profundidade do furo</b>	K (m)	12,00
<b>Afastamento medido na superfície</b>	V (m)	2,00
<b>Afastamento real</b>	V real (m)	1,93
<b>Espaçamento</b>	E (m)	3,00
<b>Tampão máximo</b>	T (m)	2,45
<b>Sobrefuração</b>	S (m)	0,58

Além da limpeza no local de perfuração, deve ser realizada a limpeza no pé da bancada para evitar a obstrução durante a fragmentação e a ocorrência de repé.

### 3.3 PERFURAÇÃO

Logo após a marcação pela equipe de topografia, seguimos com a perfuração da rocha e a conferência da profundidade dos furos.

Para a perfuração é utilizada uma perfuratriz sobre esteiras, ilustrada na Figura 16 (a), hastes metálicas de 3,0 metros de comprimento e um bits que produz um furo de aproximadamente 3". Essas hastes, ilustradas na Figura 16 (b), são rosqueadas umas às outras conforme a profundidade necessária do furo e, normalmente, é utilizado um número máximo de 3 hastes, de forma a evitar um desgaste exagerado do bits. Esse desgaste reduz o diâmetro do furo, dificultando o preenchimento do mesmo com o material explosivo posteriormente.

Após feita a perfuração de um furo, é colocado um tampão de material plástico na boca de cada um para evitar que, com a ação das intempéries, ocorra a entrada de algum material indesejado nos mesmos. Além disso, ainda pode ocorrer um estrangulamento do furo devido às movimentações e acomodações do maciço rochoso e, caso isso ocorra, deve-se realizar o furo novamente.

**Figura 16 - Perfuratriz e hastes rosqueáveis**



(a)

(b)

### 3.4 PREPARO DOS FUROS, PREENCHIMENTO COM MATERIAL EXPLOSIVO E DETONAÇÃO

Antes do preenchimento dos furos com o material explosivo é necessário conferir novamente a profundidade de cada um e realizar a limpeza dos mesmos. O processo de limpeza também consiste na retirada de água acumulada no fundo da perfuração. Essa água pode impedir que o explosivo chegue até o final do furo, prejudicando o carregamento e facilitando a ocorrência de “repés”. Para isso, são utilizadas mangueiras injetoras de ar, que expulsam a água até a superfície. Após a conferência da profundidade e feita a limpeza dos furos, os mesmos são preenchidos com o material explosivo escolhido.

No caso do explosivo bombeado, é inserido primeiramente uma camisa de material plástico, com o auxílio de duas “bananas”, sendo a segunda conectada a um cordel detonante, como o ilustrado na Figura 19 (a). O cordel detonante deve ser comprido o suficiente para conectar a ponta da banana localizada no final do furo e ainda assim chegar à superfície com folga para realizar a conexão com os demais furos. A banana serve de peso e também de guia para a inserção correta da camisa, além de garantir que o material explosivo chegue até o final do furo. Após a sua inserção, é injetado ar para abrir as paredes da camisa e facilitar o escoamento do explosivo bombeado.

O explosivo bombeado é resultado de uma mistura de emulsão no qual, isoladamente, não possuem propriedades explosivas, é considerado oxidante apenas e no local da aplicação é adicionado nitrito que é um iniciador da reação. Essa mistura é feita no próprio local e é

bombeada pelo furo com o auxílio de uma mangueira, onde são feitos movimentos de vai e vem dentro do furo para garantir a não existência de vazios.

**Figura 17 - Amostras da dosagem**



(a)

(b)

Durante o preenchimento dos furos são retiradas amostras da mistura para verificação da dosagem de Nitrito, em corpos de prova como na Figura 17 (a). A reação química da mistura acarreta no surgimento de bolhas, aumentando seu volume, como ilustrado na Figura 17 (b). Por isso, é monitorada a reação da mistura, registrando a densidade do corpo de prova a cada 10 minutos.

**Figura 18 - Tampão**



Após o preenchimento dos furos é executado um tampão de material estéril, para garantir não haja perda de gases na fase de ignição e que a reação explosiva ocorra apenas dentro da perfuração. Normalmente, a empresa utiliza pedrisco como material estéril para o tamponamento, ilustrado na Figura 18.

**Figura 19 - Bobina de cordel detonante e ligações entre furos**



(a)

(b)

Depois de preenchidos todos os furos, é realizada a conexão entre estes utilizando cordéis detonantes e retardos, como ilustrado nas Figuras 19 (b) e 21. Os retardos serão os responsáveis pela não detonação simultânea de toda a malha e são posicionados entre linhas de cordéis. Cada dispositivo desses produz um determinado tempo de retardo na explosão da linha adjacente.

**Figura 20 - Retardos de 17 e 25 ms, respectivamente**



(a)

(b)

Na detonação aqui mostrada, foram utilizados dois tipos de retardo, de 17 e 25 ms, diferenciados pela cor amarela e alaranjada, como ilustrado nas Figuras 19 (a) e 19 (b).

Depois de carregados todos os furos e feitas todas as ligações entre eles, é acionada uma sirene para evacuação dos funcionários da empresa. Os funcionários recebem o aviso do horário da detonação com antecedência e a sirene serve como um aviso final, de que a

detonação ocorrerá em aproximadamente 5 minutos. As estradas de acesso à pedreira são bloqueadas e são realizadas rondas para se certificar de que nenhuma pessoa permaneceu no local de risco. Após todas essas checagens, a detonação é autorizada pelo responsável da empresa.

**Figura 21 - Ligações entre furos, malha estagiada**



O acionamento do fogo é feito de forma manual, não sendo utilizados iniciadores elétricos. O cordel detonante é estendido até a praça da bancada, onde o blaster acopla dois estopins, de aproximadamente 2 metros, que queima a uma velocidade muito menor que o cordel que aciona uma espoleta na qual dão início a detonação.

**Figura 22 - Pilha de material proveniente dos desmontes 1 e 2**



(a)

(b)

Após a detonação, é feita uma análise visual da qualidade do fogo, principalmente pela dimensão de fragmentação, presença de maticos e repés. Essas avaliações visuais servem como base para a otimização das técnicas de fogo, adaptando a malha e o tipo de explosivo,

de forma a obter o plano de fogo mais econômico de acordo com os equipamentos de britagem disponíveis.

Nas Figuras 22 (a) e (b) estão ilustradas dois desmontes de rocha distintos, que serão comparados mais adiante, tanto em questões econômicas quanto visuais.

Quando algum fragmento de rocha não possui as dimensões adequadas para passar pela boca do britador, é necessário fragmentá-los com o auxílio de um martelo rompedor ou de uma bola de aço. A empresa abandonou recentemente o uso de martelo rompedor, pela produtividade reduzida e pelos custos de manutenção do mesmo. Foi então, adotada como solução o uso de bolas de aço de 5.000 kg, onde uma escavadeira abandona a pedra de grandes dimensões no ar, de forma que a mesma caia em queda livre sobre a bola, fragmentando-o e reduzindo suas dimensões, como mostra a Figura 23.

**Figura 23 - Fragmentação de matacos com utilização de bola de aço**



Os demais fragmentos de rocha são levados até o britador primário, que é um britador de mandíbulas com boca de 1,20 x 0,95 m. Isso significa que o tamanho máximo dos fragmentos de rocha passantes pelo britador primário é limitado por estas dimensões.

### 3.5 BENEFICIAMENTO

Uma unidade industrial para beneficiamento de rocha tem por função modificar o tamanho das partículas, sua forma e distribuição granulométrica, visando ao seu uso como agregado. O primeiro estágio da fragmentação ocorre nas atividades de lavra, isto é, no

desmonte da rocha, com o auxílio de explosivo, em que são obtidos blocos de tamanhos variados, entretanto, adequados à alimentação dos equipamentos de britagem.

Após a detonação do maciço, a pedra detonada é carregada com o auxílio de escavadeiras hidráulicas e transportada por caminhões basculantes até a central de britagem, que fica a uma distância de aproximadamente 500 m das bancadas.

A primeira etapa de britagem é feita com um britador primário de mandíbulas, com boca de 1,20 x 0,95 m. O produto resultante dessa primeira etapa é chamado de pedra pulmão, ou rachão, e é ele que alimenta os rebitadores.

Depois do britador primário, existem outros dois britadores: o secundário, o terciário e também os conjuntos de peneiras. O britador secundário tem função de reduzir ainda mais o diâmetro dos agregados, produzindo britas de diversas granulometrias. O britador terciário tem como função produzir agregados com granulometria ainda menor e maior cubicidade, como pedrisco, granilha e pó de pedra, finalizando a última etapa de britagem.

**Tabela 4 - Principal uso dos agregados**

<b>Areia artificial</b>	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
<b>Pedrisco</b>	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral.
<b>Brita 1</b>	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes.
<b>Brita 2</b>	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas.
<b>Brita 3</b>	Também denominada pedra de lastro utilizada nas ferrovias.
<b>Brita 4</b>	Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas.
<b>Rachão</b>	Fabricação de gabiões, muros de contenção e bases.
<b>Brita graduada</b>	Em base e sub-base, pisos, pátios, galpões e estradas.

Fonte: Kuliaf, 2001.

### 3.6 ANÁLISE DE CUSTOS E EFICIÊNCIA DOS DESMONTES

A seguir, serão apresentados os custos de limpeza, perfuração e do carregamento e detonação dos explosivos de dois fogos distintos, ambos utilizando emulsão bombeada, realizados por duas empresas distintas, para analisar os custos de extração.

Primeiramente, temos um custo com a limpeza da praça, em metro quadrado. Para isso, é empregado o uso de uma escavadeira hidráulica para a limpeza mecânica de fragmentos de rocha que possam dificultar a perfuração.

Em seguida, é realizada a etapa de marcação dos furos onde é contratada uma equipe de topografia, equipada com estação total. É pago por dia de serviço um valor de 500,00 reais.

A próxima etapa consiste na perfuração dos furos que é realizada por uma empresa especializada. Este serviço é pago por metro linear de perfuração e custa 18,00 reais por metro.

O último passo é o carregamento dos furos com material explosivo e detonação, realizado também por empresa especializada. De modo a simplificar os cálculos, será considerado como custo da detonação o total da nota fiscal do serviço.

Elaborou-se então, para fins de comparação, as Tabelas 5 e 6, cada uma referente à um desmonte de rocha, e por fim, a Tabela 7 que compara diretamente as principais características dos dois desmontes.

**Tabela 5 - Custos do fogo 1, com 51 furos**

<b>Serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário</b>	<b>Custo total</b>	<b>%</b>
Limpeza	m <sup>2</sup>	440,64	4,95	2181,17	8,01
Topografia	dia	1,00	500,00	500,00	1,83
Perfuração	m	547,80	18,00	9.860,40	36,19
Detonação	unid	1,00	14.702,50	14.702,50	53,97
<b>TOTAL FOGO 1</b>				<b>R\$ 27.244,07</b>	<b>100,00 %</b>

Tabela 6 - Custos do fogo 2, com 106 furos

Serviço	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Custo total	%
Limpeza	m <sup>2</sup>	915,84	4,95	4.533,41	6,59
Topografia	dia	2,00	500,00	1.000,00	1,45
Perfuração	m	1.540,64	18,00	27.731,52	40,29
Detonação	unid	1,00	35.565,72	35.565,72	51,67
<b>TOTAL FOGO 2</b>				<b>R\$ 68.830,65</b>	<b>100,00 %</b>

A maior diferença nos custos ocorreu devido à diferença dos preços praticados pelas duas empresas. Onde o custo de detonação por m<sup>3</sup> de rocha detonada in situ do fogo 1 foi de 3,10 reais por m<sup>3</sup>, enquanto que no fogo 2 foi de 2,90 reais por m<sup>3</sup>, uma diferença de 6,45%. Essa diferença pode ser explicada em partes pelas dimensões dos serviços contratados, que influenciam diretamente no orçamento apresentado pela empresa responsável pela detonação.

Além disso, o fogo 2 teve uma redução nos custos devido à uma economia associada à profundidade dos furos, que no segundo fogo é maior que a profundidade dos furos do primeiro fogo. Essa economia ocorre nas etapas de limpeza e topografia, que no fogo 1 produz um custo de 0,57 reais por m<sup>3</sup> de rocha detonada in situ, enquanto que o fogo 2 resultou em um custo de 0,45 reais por m<sup>3</sup>, uma diferença de 21%.

Com isso, conclui-se que os custos de desmonte variam com a dimensão do desmonte e com a profundidade dos furos, além de outras variáveis não analisadas neste trabalho como, por exemplo, o diâmetro dos furos e a relação entre espaçamento e afastamento, além do tipo de malha adotado e propriedades da rocha. Na Tabela 7 estão contidos alguns dados gerais de cada desmonte.

Outro ponto interessante é comparar o consumo de explosivo por volume de rocha medido in situ dos desmontes apresentados com os valores encontrados na literatura, apresentados na seção 2.3.6.11. O consumo encontrado na literatura para rochas ígneas varia de 0,45 à 0,62 kg/m<sup>3</sup> de rocha. Na tabela acima temos que os consumos dos fogos 1 e 2 foram 0,55kg/m<sup>3</sup> e 0,62 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, estando dentro da faixa de valores esperados.

**Tabela 7 - Resumo comparativo dos desmontes**

	<b>FOGO 1</b>	<b>FOGO 2</b>
Número de furos	51	106
Volume de rocha detonada in situ	4.732,99 m <sup>3</sup>	12.253,94 m <sup>3</sup>
Consumo explosivo por m linear furação	4,78 kg/ml	5,38 kg/ml
Consumo explosivo por m <sup>3</sup> de rocha in situ	0,55 kg/m <sup>3</sup>	0,62 kg/m <sup>3</sup>
Custo por m <sup>3</sup> de rocha in situ	5,76 R\$/m	5,62 R\$/m
Análise visual do fogo e observações	Grande presença de matacos, com pilha de desmonte muito próxima à face da bancada. Não ocorrência de repé.	Presença de matacos mediana; bom afastamento da pilha de desmonte em relação à face; face resultante bem definida. Não ocorrência de repé.

O consumo de explosivo por metro linear de perfuração também deve ser analisado, pois mantido um diâmetro constante de perfuração, o consumo de material explosivo por metro deveria ser o mesmo para os dois fogos analisados, mas houve uma diferença de 11,15%. Existem algumas possíveis causas que explicam essa diferença de consumo. A primeira delas é o diâmetro de perfuração que está diretamente associada às condições do bits, pois um bits gasto produz furos de menor diâmetro e com isso, o volume a ser preenchido se torna menor. A segunda possível causa seria associada a empresa que executou os serviços, na dosagem de mistura do material explosivo ou devido a um desperdício no momento de preenchimento dos furos durante o fogo 2. A terceira causa possível é a perfuração da camisa que envolve a emulsão, causando vazamento do material pelas fraturas da rocha no desmonte 2.

#### 4. CONCLUSÃO

Como pode ser visto ao longo desta pesquisa, o desmonte de rocha a céu aberto com emprego de material explosivo requer uma série de cuidados, visto seu alto grau de periculosidade. A prática, que se configura essencial para a construção civil, deve ser meticulosamente estudada, bem como executada, para que se evitem acidentes e minimizem-se os impactos ambientais dela decorrentes.

Salienta-se ainda que as variáveis associadas ao processo de desmonte podem variar devido a não homogeneidade das propriedades físicas do maciço rochoso. Apesar de existirem bibliografias com valores que servem de referência, estes devem ser adaptados à realidade de cada pedreira de forma a obter o melhor custo/benefício, tornando a metodologia de desmonte de rocha com o uso de explosivos um método empírico.

Outro ponto que merece destaque reside na escolha do tipo de explosivo para cada caso específico, pois, há uma enorme diferença nos custos envolvidos em cada sistema.

Deve-se ainda ressaltar que uma das formas de primar pela execução do desmonte com uso de explosivos está atrelada ao cumprimento fiel das normativas que balizam o assunto, pois delas é que se extraem a sequência procedimental segura bem como as instruções para um desmonte eficiente.

Para trabalhos futuros sugere-se:

- Um estudo detalhado das influências dos parâmetros contidos no plano de fogo nos resultados obtidos pelo desmonte de rocha a céu aberto com explosivos;
- Otimização econômica e logística dos processos e equipamentos de uma pedreira;
- Estudo dos impactos ambientais causados pelo desmonte de rocha com explosivos;
- Estudo dos diversos tipos de explosivos encontrados comercialmente, principais características e indicações de uso.

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9653: **Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas**. Rio de Janeiro, 2018.

ALBUQUERQUE, A. S. “**Agregados**”. **Materiais de construção**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994. v.1. p.63- 120.

ANM. Agência Nacional de Mineração. **Carta de serviços ao usuário**. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/carta-de-servicos-ao-usuario>>. Data de acesso: 13/03/2019.

BARRETO, Maria Laura. **Mineração e Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

CAMERON, A.; HAGAN, T. **Curso Internacional: Tecnologia de desmonte de rochas com explosivos para minas a céu aberto e subterrâneas**. Belo Horizonte: IBRAM, 1996.

COSTA, A. A.; FARIAS, P. S. C. **A penetração da colonização para o interior: entradas e bandeiras alargam o território colonial e transformam o Tratado de Tordesilhas em “letra morta”**. Campina Grande: EdUEP, 2009.

CHIMICA EDILE. **Produtos: Argamassa expansiva**. Disponível em: <[http://chimicaedile.com.br/site/produto\\_demox.asp](http://chimicaedile.com.br/site/produto_demox.asp)>. Data de acesso: 13/02/2019.

CUDOWNY ŚWIAT. KOWARY - **A mina de Podgórze e a cidade velha**. Disponível em: <<https://wonder175.blogspot.com/2017/11/kowary-kopalnia-podgorze-i-kowarska.html>>. Data de acesso: 13/02/2019.

DAER-RS - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **IS-102/94: Instrução de serviço para estudo de pedreiras**. Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/upload/arquivos/201607/26183206-is-102-94-estudo-de-pedreira.pdf>>. Data de acesso: 28/03/2019.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **NORMA 106/2009: Terraplenagem - Cortes. Especificação de serviço**. 2009.

FERREIRA, R. **Detalhes de execução do serviço de desmonte de rocha a frio**. PINI: Construção e Mercado. Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/148/veja-os-detalhes-de-execucao-do-servico-de-desmonte-de-3009-97-1.aspx>> Data de acesso: 13/02/2019.

GAMA, C. D. da. **Curso vibrações em geotécnica: geração, monitorização, impactos ambientais, critérios de dano e sua mitigação**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. Portugal. 2003.

- GERALDI, J.L.P. **O ABC das Escavações de Rocha**. Rio de Janeiro. Ed. Interciência, 2011.
- GERMANY, Darcy José. **A mineração no brasil**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Secretaria Técnica do Fundo Setorial Minera. CT Mineral. Rio de Janeiro, 2002.
- GIL, Rodrigo. **Avaliação da expansão do complexo de carajás através da teoria de opções reais**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2005.
- IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e análises da economia mineral Brasileira**. 7ª Edição. 2014.
- IBRAM. – Instituto Brasileiro de Mineração. **Seminário: Novos desafios da Pesquisa, Política e Economia Mineral 2018**. Disponível em: <<http://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2018/11/ibram-novembro-2018.pdf>>. Data de acesso: 15/05/2019.
- KOPPE, J. C.; COSTA, J. F. C. L. **Operações de lavra em pedreiras**. In: **Manual de agregados para a construção civil**. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. Cap.7. p.127-145.
- KULAIIF, Yara. **Análise dos mercados de matérias-primas minerais: estudo de caso da indústria de pedras britadas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2001.
- LA SERNA, H. A.; REZENDE, M. M. **Agregados Para a Construção Civil**. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009.
- LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A. **Operações de Beneficiamento de Rochas**. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. Cap.9. p.167-179.
- MANUAL BRITANITE. **Guia de Utilização de Produtos**. Quatro Barras – PR, 2010.
- MENDES, M. L. **Curso de Desmonte de Rochas por Explosivos - Formação de Blaster**. Disponível em: <[https://www.academia.edu/10183750/CURSO\\_DE\\_DESMONTE\\_DE\\_ROCHAS\\_POR\\_EXPLOSIVOS\\_-FORMA%C3%87%C3%83°\\_DE\\_BLASTER\\_Instrutor\\_Marcelo\\_Lopes\\_Mendes\\_-\\_Engenheiro\\_de\\_Minas\\_CREAMG\\_73.235\\_D](https://www.academia.edu/10183750/CURSO_DE_DESMONTE_DE_ROCHAS_POR_EXPLOSIVOS_-FORMA%C3%87%C3%83°_DE_BLASTER_Instrutor_Marcelo_Lopes_Mendes_-_Engenheiro_de_Minas_CREAMG_73.235_D)> Data de acesso: 20/04/2019.
- PEREIRA, R. C; SANTOS, M. B. G. **Gerenciamento de riscos nas atividades de desmonte de rochas com explosivos**. XXXVI Encontro Nacional De Engenharia De Produção, João Pessoa/PB, 2016.
- PIRES, Iano. **O bico de pena mágico de Percy Lau**. Disponível em: <<http://lanopires.blogspot.com/2011/04/o-bico-de-pena-magico-de-percy-lau.html>>. Data de acesso: 13/02/2019.
- PONTES, J. C. **Impactos ambientais decorrentes do uso de substâncias explosivas em pedreira de granito de Caicó-RN**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2016. Paraná, 2016.

QUAGLIO, Osvail André. **Otimização da perfuração e da segurança nos desmontes de agregados através dos sistemas laser profile e boretrak.** Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, 2003.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual prático de escavação: terraplenagem e escavação de rocha.** Edição 2. Editora Pini, 1990.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual prático de escavação: terraplenagem e escavação de rocha.** Edição 3. Editora Pini, 2007.

SILVA, V. C. **Desmonte de rochas com explosivos.** INSTITUTO DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 126 pp. 1998.

SILVA, V. C. **Apostila do Curso de Mineração - Operações Mineraias.** Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, 2009.

SOUZA, J. C. **A manutenção produtiva total na indústria extrativa mineral: a metodologia tpm como suporte de mudanças.** Dissertação (Mestrado em Engenharia pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC), Florianópolis, 2001.

THE NOBEL PRIZE. **Alfred Nobel's life.** Nobel Media AB 2019. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/alfred-nobel/biographical-information/>>. Data de acesso: 18/04/2019.