

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

RAFAEL FRANCO E SILVA

ANÁLISE DA METODOLOGIA DE DERRUBADA DE BANCADAS ULTRA-ALTAS
POR MEIO DE RUPTURA BASAL EM CUNHA

Recife

2018

RAFAEL FRANCO E SILVA

ANÁLISE DA METODOLOGIA DE DERRUBADA DE BANCADAS ULTRA-ALTAS
POR MEIO DE RUPTURA BASAL EM CUNHA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral do Departamento de Engenharia de Minas do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mineral.

Área de Concentração: Rochas Ornamentais

Orientador: Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

S586a Silva, Rafael Franco e.
Análise da metodologia de derrubada de bancadas ultra-altas por meio de ruptura basal em cunha / Rafael Franco e Silva - 2018.
78 folhas, il., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, 2018.
Inclui Referências.

1. Engenharia de Minas. 2. Extração de granito. 3. Boca de lobo. 4. Cama de amortecimento. 5. Leis de Newton. I. Barros, Márcio Luiz de Siqueira Campos (Orientador). II. Título.

623.26 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2018-481

RAFAEL FRANCO E SILVA

“ANÁLISE DA METODOLOGIA DE DERRUBADA DE BANCADAS ULTRA ALTAS
POR MEIO DE RUPTURA BASAL EM CUNHA”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em engenharia mineral.

Aprovado em 29 / 11 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros
Orientador – (UFPE)

Prof. Dr. Felisbela Maria da Costa Oliveira
Examinador Interno – (UFPE)

Prof. Dr. Marcelo Reis Rodrigues da Silva
Examinador externo – (UFPE)

Dedico este trabalho a todos que me acompanharam nesta jornada nada fácil, pois sem o apoio deles este sonho jamais poderia se tornar realidade, a longa caminhada da vida pela qual passamos desde o nosso nascimento, vive cheia de pessoas que muitas vezes ficam pelo caminho e não acompanham nossa caminhada até o fim, mas para todos aqueles que acompanharam até o desfecho deste momento, meu muito obrigado, pois sem meus pais e minha esposa e filho nada disso seria possível, já que o apoio deles é de fundamental importância para permanecermos firmes nesta longa jornada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me iluminar e guiar meus passos com sabedoria. Aos meus pais que me educaram e com seus ensinamentos me passaram valores primordiais (ética, moral e respeito) para seguir na vida lutando por tudo de bom, à minha esposa e filho que me acompanhou nesta caminhada, dando apoio e suportando meus estresses quando as coisas pareciam não caminhar conforme o desejado.

Aos meus familiares e amigos que estiverem próximos, para conversar, tomar umas cervejas e relaxar; aos professores da UFPE em especial meu orientador que sempre tiveram disponibilidade para gastar um pouco do seu tempo para conversar, trocar ideias (orientar), fazendo com que a partir destas conversas toma-se a decisão mais acertada para o meu futuro profissional.

Aos que já partiram, pois não podem mais presenciar o desfecho desta caminhada, mas em vida ajudaram como puderam a impulsionar-me ao sucesso aos meus empregadores, que sem a oportunidade que me deram, jamais teria amadurecido, aprendido e chegado aonde me encontro.

RESUMO

O setor de rocha ornamental no Brasil produziu no ano de 2017 mais de 9,2 milhões toneladas de blocos de rocha ornamental. Apesar de todo este volume de extração, o setor de rocha ornamental ainda trabalha com um baixo nível de automação e uma pequena quantidade de tecnologia agregado ao modelo de extração, se utilizando de muitas técnicas empíricas, sem considerar as mais diversas variáveis científicas. Com o objetivo de sanar este problema, aliando o conhecimento ao trabalho de extração de rocha ornamental, foram coletados os mais diversos dados sobre as bancadas, boca de lobo e cama de amortecimento para realizar um diagnóstico, bem como encontrar novas equações de dimensionamento. Com esta nova técnica aliada a utilização do fio diamantado na extração das bancadas ultra-altas, há uma possibilidade de redução de custo, bem como aumento da produtividade e recuperação. Para que isso aconteça, tivemos que utilizar as equações de inercia onde $I = m \times R^2$, pois a bancada ultra-alta só vai realizar seu movimento de tombamento se a energia cinética rotacional for superior a inercia da bancada. Como o tempo do movimento e o ângulo da boca de lobo são de suma importância para o dimensionamento, neste trabalho conseguimos elaborar uma equação simples e usual para dimensionar a boca de lobo que é $h = L \times \text{tg } 6^\circ$. Já para conseguirmos dimensionar a cama de amortecimento, tivemos que aplicar a segunda e a terceira lei de Newton, utilizando a equação $H_c = (2 \times v) / (C \times L)$, onde H_c é a altura da cama de amortecimento. O trabalho em questão levou em consideração a confecção da cama com material terroso, com densidade de aproximadamente $1,25 \text{ Kg/m}^3$. Com isso, observamos que as camas de amortecimento nem sempre tem o volume necessário para cumprir sua função, confirmando nossa teoria do motivo de quebra das bancadas quando as mesmas entram em contato com a cama. Com essa análise, conseguimos mensurar o custo de confecção da cama de amortecimento, onde alguns valores passam dos R\$ 30.000,00, levando a pensar em alternativas para confecção deste produto.

Palavras-chave: Extração de granito. Boca de lobo. Cama de amortecimento. Leis de Newton.

ABSTRACT

The natural rock sector in Brazil produced more than 9.2 million tons of ornamental rock blocks in 2017. Despite all this volume of extraction, the ornamental rock sector still works with a low level of automation and a small amount of technology added to the extraction model, if using many empirical techniques, without considering the most diverse scientific variables. In order to solve this problem, combining the knowledge with the ornamental rock extraction work, the most diverse data on the benches, lobe and damping bed were collected to make a diagnosis, as well as to find new dimensioning equations. With this new technique allied to the use of diamond wire in the extraction of ultra-high benches, there is a possibility of cost reduction as well as increased productivity and recovery. For this to happen, we had to use the inertial equations where $I = m \times R^2$, since the ultra high bank will only perform its tipping motion if the rotational kinetic energy is greater than the bench inertia. Since the time of movement and the angle of the wolf's mouth are of great importance for the sizing, in this work we can elaborate a simple and usual equation to size the wolf's mouth that is $h = L \times \text{tg } 6^\circ$. In order to be able to measure the damping bed, we had to apply Newton's second and third law, using the equation $H_c = (2 \times v) / (C \times L)$, where H_c is the height of the damping bed. The work in question took into account the making of the bed with earthy material, with a density of approximately $1,25 \text{ kg} / \text{m}^3$. In this way, we observe that the cushion beds do not always have the necessary volume to fulfill their function, confirming our theory of the reason for breaking the benches when they come into contact with the bed. With this analysis, we were able to measure the cost of making the cushion bed, where some values exceed R\$ 30,000.00, leading us to think about alternatives for making this product.

Keywords: Granite extraction. Wolf mouth. Cushion bed. Newton's laws.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Métodos de Exploração de Rocha Ornamental	15
Figura 2 - Aplicação de Rocha Ornamental em um banheiro.	16
Figura 3 - Classificação das Rochas Ornamentais quanto a sua mineralogia.	17
Figura 4 - Método de extração para matacão.	18
Figura 5 - Lavra por desabamento, onde é possível verificar o plano de fratura da rocha	19
Figura 6 - Lavra de bancadas baixas, em múltiplas bancadas.	20
Figura 7 - Bancada alta para extração de granito.	21
Figura 8 - A esquerda são as pérolas sinterizadas utilizadas para extração de mármore, a direita são as pérolas eletro depositada utilizada para o corte do maciço rochoso.	24
Figura 9 - Ilustração de modelos de fio diamantado.	24
Figura 10 - Equipamento utilizado para executar o corte com fio diamantado.	25
Figura 11 - Execução de corte com máquina de fio diamantado.	26
Figura 12- Esquema do Movimento realizado pelo fio diamantado durante o processo de corte.	26
Figura 13 - Martelo pneumático realizando perfuração horizontal.	27
Figura 14 - Equipamento de fundo de furo e coluna, realizando perfuração horizontal.	28
Figura 15 - Perfuratriz de coluna vertical (Sonda).	28
Figura 16 - Equipamento utilizado para realizar a perfuração vertical, em maciço rochoso.	29
Figura 17 - Macaco hidráulico em operação.	30
Figura 18 - Tombamento de filão, através de macaco hidráulico.	31
Figura 19 - Travesseiro pneumático desestabilizando o filão.	32
Figura 20 - Em vermelho pode ser visto a perfuração inclinada com martelo pneumático, na frente da bancada, com ângulo aproximado de 30° formando a "boca de lobo"	34
Figura 21 - Geometria da bancada, que possibilita encontrar a altura da "boca de lobo".	35
Figura 22 - Imagem frontal da "boca de lobo" cortada com fio diamantado em vermelho, assim como pode ser visto em amarelo o furo inclinado.	36
Figura 23 - Boca de lobo cortada com fio diamantado em vermelho e perfuração lateral para inserção de explosivos em amarelo.	36
Figura 24 - Cama de amortecimento esperando para o tombamento do quadrote.	39
Figura 25 - Parque industrial do Estado do Espírito Santo.	42
Figura 26 - Mapa geológico do Noroeste capixaba.	44
Figura 27 - Em vermelho a imagem do município de Nova Venécia - ES.	45
Figura 28 - Coleta de dados realizada em uma pedreira de Rocha Ornamental.	47
Figura 29 - Em vermelho o centro de massa de um prisma de base retângular.	48
Figura 30 - Retângulo com as retas indicando o local do centro de massa.	50
Figura 31 - Bancada antes do desmonte da "boca de lobo", onde é possível verificar a cunha formada para desestabilizá-la.	51

Figura 32 - Cálculo da quantidade de pólvora negra utilizado no plano de fogo para Rocha Ornamental.	52
Figura 33- Vista Lateral da "boca de lobo" com os furos horizontais, para a inserção dos explosivos.	53
Figura 34 - A esquerda bancada já descalçada, e a direita a bancada tombada.	53
Figura 35- Movimento de interesse da bancada, pois a partir dele é possível verificar se a inércia da bancada será vencida.....	57
Figura 36 - Dimensões da bancada ultra alta e sua cama de amortecimento.	65
Figura 37 - Representação da 3º lei de Newton que nos mostra que toda ação causa uma reação de igual intensidade, mas com sentido contrário.....	67
Figura 38 - Caminhão basculante com capacidade de 16m ³ , para confecção de cama de amortecimento.	71
Figura 39 - Escavadeira hidráulica na extração de argila, e confecção da cama de amortecimento.	72
Figura 40 - Escavadeira realizando o trabalho de confecção da cama de amortecimento.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos de exploração para Rocha Ornamental subterrânea.....	22
Tabela 2 - Comparativo econômico e de produção entre tecnologias de corte.....	23
Tabela 3 - Relação altura da prancha x travesseiro pneumático.....	33
Tabela 4 - Dados obtidos na frente de extração, para alturas entre 20m a 55m.....	37
Tabela 5 - Dados obtidos na frente de extração obtidos para alturas superiores a 55m.	37
Tabela 6 - Produção de Rocha Ornamental, por tipo de rochas.	41
Tabela 7 - Dimensões dos painéis verticais para cálculo do centro de massa.....	49
Tabela 8 - Local onde será encontrado o centro de massa das 10 bancas.....	51
Tabela 9 - Razão de carregamento para os diversos tipos de desmonte de rocha.	52
Tabela 10 - Massa e volume das bancadas pesquisadas.	55
Tabela 11 - Ângulos tomados de acordo com os dados empíricos, coletados em campo.	56
Tabela 12 - Valores da velocidade angular obtido para cada bancada.	58
Tabela 13 - Demonstra que o valor da energia rotacional, foi superior ao valor da inércia da bancada.	59
Tabela 14 - Simulação com mudança do tempo para avaliar a mudança da energia cinética rotacional, comparando com a inercia da banca.....	59
Tabela 15 - Redução dos ângulos da "boca de lobo", onde altera a velocidade angular e consequentemente a energia rotacional.	60
Tabela 16 - Obtenção do ângulo crítico que garante a queda da bancada ultra alta.....	61
Tabela 17 - Após fixar o tempo em 4s o novo ângulo crítico fica com o valor de 6°, verificamos que a energia rotacional é superior á inercia garantindo o tombamento da bancada.....	62
Tabela 18 - Comparação entre a altura empírica da "boca de lobo" e a nova altura teórica.....	63
Tabela 19 - Demonstração de todos os parâmetros, que se deve levar em consideração para o cálculo da altura da cama de forma empírica.	66
Tabela 20 - Valores encontrados para força resultante.....	68
Tabela 21 - Valores encontrados da velocidade linear.	68
Tabela 22 - Valores da desaceleração da bancada quando se encontram com a cama de amortecimento.	69
Tabela 23 - Massa da cama necessária para promover a desaceleração da bancada.....	70
Tabela 24 - Valores utilizados para encontrar a altura da cama de amortecimento h.	71
Tabela 25 - Valores de hora máquina para escavadeira e caminhão basculante no ano de 2016.	73
Tabela 26 - Valores de tempo de carregamento para confecção da cama de amortecimento, de cada bancada que foi derrubada.	73
Tabela 27 - Valores encontrados para o custo da confecção de uma cama de amortecimento.	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	15
2.1	O QUE É ROCHA ORNAMENTAL	15
2.2	TIPOS DE ROCHA ORNAMENTAL	16
2.3	EXTRAÇÃO POR MATAÇÃO	17
2.4	EXTRAÇÃO POR DESABAMENTO	18
2.5	EXTRAÇÃO POR BANCADAS	19
2.5.1	Bancadas Baixas	20
2.5.2	Bancadas Altas	20
2.6	EXTRAÇÃO SELETIVA	21
2.7	EXTRAÇÃO SUBTERRÂNEA	22
2.7.1	Métodos de Desmonte Subterrâneo:	23
2.8	FIO DIAMANTADO	23
2.9	PERFURAÇÃO E CORTE EM AFLORAMENTOS ROCHOSOS	27
2.10	TÉCNICAS DE DERRUBADA DE BANCADA ALTA E ULTRA ALTA	29
2.10.1	Macaco Hidráulico	29
2.10.2	Colchão Inflável	31
2.11	BOCA DE LOBO	33
2.11.1	Boca de Lobo com Martelo Pneumático	34
2.11.2	Boca de Lobo com fio diamantado	35
2.12	SISTEMA DE ABSORÇÃO DE IMPACTOS	38
2.13	CENTRO DE MASSA	39
2.14	MOMENTO DE INÉRCIA	39
2.15	LEIS DE NEWTON	40
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
3.1	GEOLOGIA REGIONAL	42
4	METODOLOGIA	46
5	DIMENSIONAMENTO DE RUPTURA BASAL EM CUNHA (BOCA DE LOBO) E CAMAS DE AMORTECIMENTOS	48

5.1	CÁLCULO DO CENTRO DE MASSA	48
5.2	CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA	54
5.3	CÁLCULO DA ENERGIA CINÉTICA ROTACIONAL	55
5.4	CONFECÇÃO E CÁLCULO DAS CAMAS DE AMORTECIMENTO	63
5.5	DIMENSIONAMENTO DE CAMA DE AMORTECIMENTO TEÓRICO	66
5.6	CUSTO PARA CONFECÇÃO DA CAMA DE AMORTECIMENTO	71
6	CONCLUSÕES	75
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

O homem se utiliza das rochas desde a idade da pedra, utilizando-as como ferramenta de trabalho ou armas. Com o passar dos séculos e o avanço das civilizações (como a egípcia, grega e a romana), essa realidade foi mudando e o homem começou a utilizar as rochas em esculturas e estruturas de edificações. Esta mudança da utilização, levou a uma alteração da forma de extração destes materiais, valorizando a sua beleza e qualidades estruturais.(VIDAL, et al 2013)

A Grécia é o país responsável por desenvolver um estilo arquitetônico mais refinado, diferente das civilizações anteriores. Antes do século VII a.C. ,a forma de extração conhecida como lavra de pedra não se era conhecida. Neste período, as rochas eram aproveitadas para a construção de templos, mas foi à partir do século XX que a evolução tecnológica possibilitou o aproveitamento deste material, tais como chapas, que podem ser cortadas e utilizadas em pisos e fachadas. (VIDAL, et al 2013)

A extração de rochas ornamentais vem evoluindo com o passar dos séculos, mas várias técnicas que são utilizadas na mineração de rocha ornamental foram consolidadas com a prática, mesmo sem o aproveitamento ideal no processo de extração.

O setor mineral brasileiro corresponde por 8% do PIB nacional, tendo um superavit em 2017 de US\$ 11,5 bilhões. O setor de rocha ornamental movimentou, no segundo semestre de 2016, mais de US\$ 460.9 milhões em exportações, movimentando a economia dos estados como Espírito Santo, Minas Gerais, Ceará, Bahia e etc.(SITE BRASIL EMPREGO, 2018)

O Brasil produziu em 2017 mais de 9,2 milhões de toneladas de blocos de rocha ornamental. Se levar em consideração que este valor representa apenas 30% de tudo que é extraído, observa-se o impacto ambiental causado, já que todo o rejeito fica depositado em forma de pilhas no local da extração. Assim, percebe-se a necessidade de mais estudo para aumentar a recuperação deste tipo de exploração. (ABIROCHAS, 2018)

Com isso, se faz necessário esforço conjunto para melhorar e estudar o setor, gerando uma acentuada evolução tecnológica nas técnicas de exploração, consolidando e agregando conhecimento a esta área.

O setor de rocha ornamental é de grande importância para as exportações nacionais, mas a exploração do mesmo ainda é realizada com um baixo nível de automação e eficiência. Para garantir a qualidade e maior eficácia, deve-se investir em pesquisa e inovação

tecnológica, dando uma maior representatividade ao setor e fôlego para economia. (ABIROCHAS, 2018)

Assim, é de grande importância uma otimização e registros das melhores técnicas de exploração na área de rocha ornamental, consolidando e agregando conhecimento a esta área, que pode evoluir com novas técnicas e tecnologias.

1.1 JUSTIFICATIVA

O setor de rochas ornamentais, apesar de sua relevância no cenário mundial (tanto para mineração ou para construção civil), ainda é muito frágil, pois ao visitarmos as frentes de extração, percebem-se processos mecanizados e com baixa automação, gerando um maior custo ao setor, reduzindo sua lucratividade bem como a recuperação de material pétreo que por diversas vezes são perdidos no processo de extração.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos foram divididos em dois tipos, o objetivo geral que compões este trabalho e o segundo em objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma nova metodologia para o dimensionamento de “boca de lobo” utilizada em bancadas ultra altas, bem como o dimensionamento adequado das camas de amortecimento.

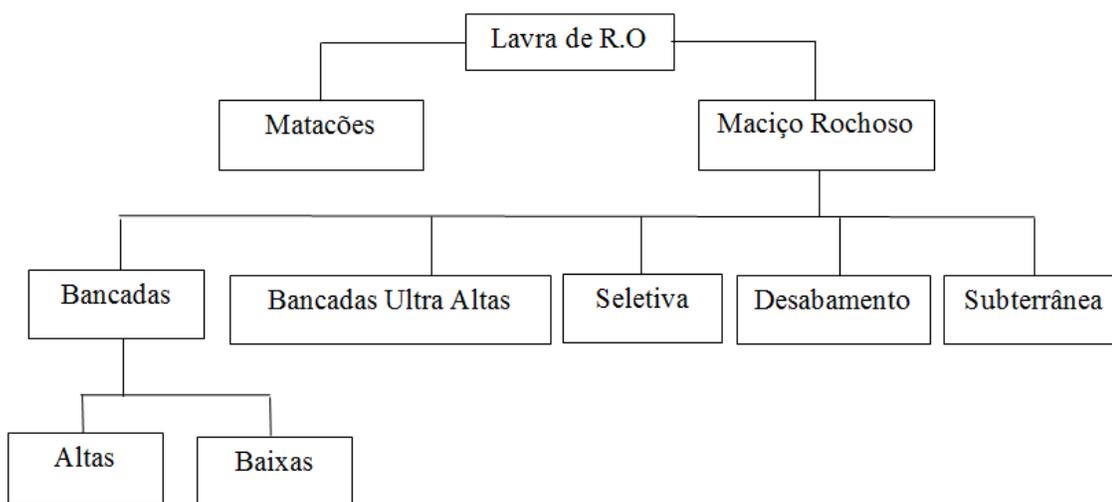
1.2.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar os modelos de camas existentes nas pedreiras de rochas Ornamentais de granito;
- Desenvolver modelo de dimensionamento das camas de amortecimento;
- Desenvolver uma nova fórmula teórica para o cálculo da altura ideal da boca de lobo.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

O método de exploração de rocha ornamental é o open pit do tipo quarry mining, onde pode ser utilizado bancadas simples ou múltiplas bancadas, respeitando as características do maciço rochoso e a produtividade desejada (Curi, 2017). Estas técnicas de exploração se encontram bem consolidada no mercado, como podem ser vistas na figura 1.

Figura 1 - Métodos de Exploração de Rocha Ornamental



Fonte: Adaptado de (ROBERTO, 1998).

A escolha do método a ser utilizado vai depender de fatores como: produção, espaço, equipamento e formação rochosa. Quando a extração é realizada em maciço rochoso, podemos optar por bancas baixas, altas, ultra-altas, assim como bancadas simples ou múltiplas bancadas, além da extração seletiva, por desabamento e subterrânea. (VIDAL, et. al, 2013).

Vamos focar neste trabalho na metodologia de tombamento de painéis verticais em bancadas altas, e bancadas ultra-altas, onde se encontram algumas tecnologias mais modernas, como macaco hidráulico, colchão inflável e boca de lobo.

2.1 O QUE É ROCHA ORNAMENTAL

As rochas ornamentais são materiais rochosos de formações graníticas, carbonáticas, metamórficas ou sedimentares, que são extraídos do maciço rochoso e beneficiados para

serem utilizados como revestimentos internos e externos, estruturas, decoração e arte funerária. Para que se possa determinar qual rocha pode ser utilizada como ornamental, é levado em consideração sua cor, textura, granulação e características técnicas conforme a ABNT 15.845/2015. (VIDAL, et al, 2013)

2.2 TIPOS DE ROCHA ORNAMENTAL

As rochas ornamentais são materiais rochosos naturais, usado pelo homem com os mais diversos objetivos como: material de construção (estrutural ou alvenaria), revestimentos como piso, paredes, fachadas, tampos de pias, balcões, arte estatutária e funerária, como pode ser observado na figura 2. (VIDAL, et al, 2013)

Figura 2 - Aplicação de Rocha Ornamental em um banheiro.



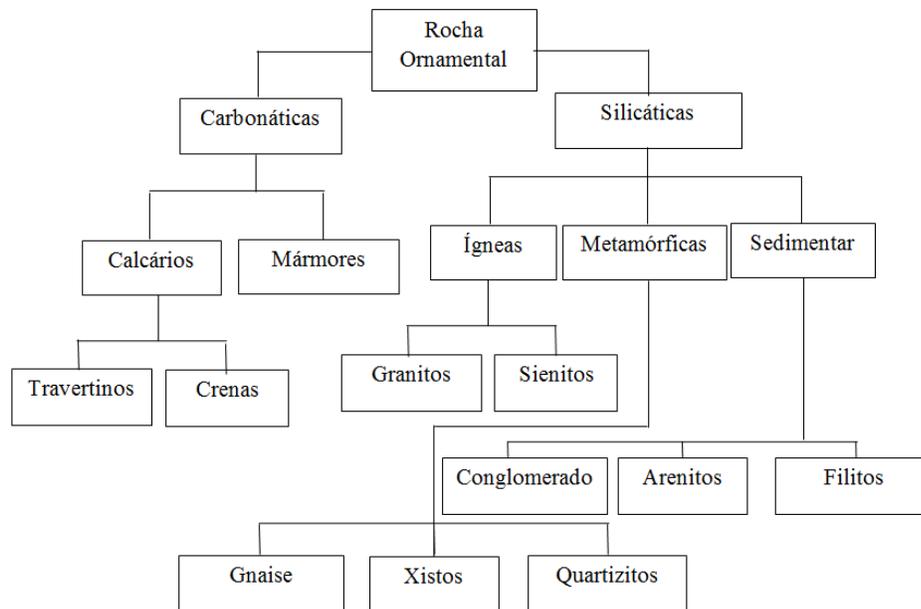
Fonte: (Marmoraria PJ).

Uma rocha para ser considerada rocha ornamental é levada em consideração suas mais diversas características como a geologia, onde se vão observar a beleza das rochas, como coloração, textura e reprodutibilidade, assim como quantidades de fraturas, mulas e outros defeitos que possam vir a prejudicar a qualidade da rocha.

As rochas são divididas em dois grandes grupos, as rochas silicáticas ígneas e metamórficas que são chamadas de granitos, as rochas carbonáticas sedimentar ou

metamórfica que são chamadas de mármore. Com a evolução dos padrões e das tecnologias de extração dos materiais pétreos, possibilitou-se um aumento da gama de rochas a serem exploradas e entrou neste grupo os quartzitos, arenitos, travertinos, calcário e ardósia, como podemos observar na figura 3. (CHIODI FILHO, 2009)

Figura 3 - Classificação das Rochas Ornamentais quanto a sua mineralogia.



Fonte: (O autor, 2018).

2.3 EXTRAÇÃO POR MATAÇÃO

A extração de rocha ornamental por meio de matação se dá através do descalçamento do mesmo. Eles se encontram enterrados devido ao material terroso que se encontra no seu entorno. Para facilitar os trabalhos de perfuração, é removido o material terroso através de escavação. Com o término da escavação, inicia-se a perfuração e o corte por fio diamantado, para se executar o fatiamento do mesmo. (MAIOR, 2013)

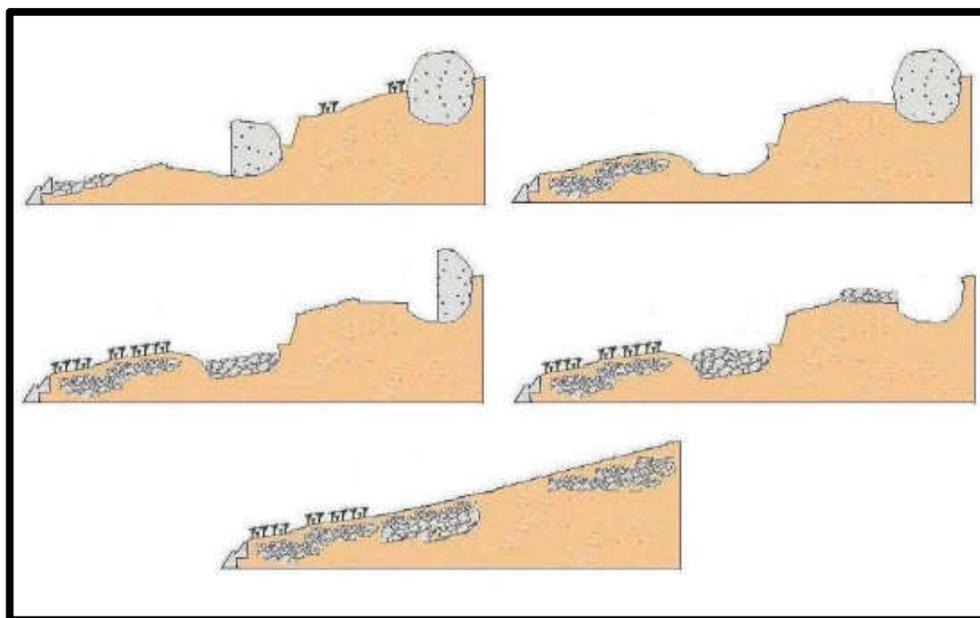
O fatiamento é um processo onde se derruba fatia por fatia em cima de uma cama de material terroso, onde se aproveita o próprio material do descalçamento. Esse fatiamento segue até a total exaustão do matação, e a fatia que foi derrubada na cama será desmembrada em blocos comercializáveis. (MAIOR, 2013)

No momento do descalçamento, todo o solo fértil que é removido na escavação no entorno do matação deve ser armazenado com cuidado em um local que não sofra com

intemperismo, para que o mesmo possa ser aproveitado posteriormente na recuperação da área onde se encontrava o matacão, assim que o mesmo for exaurido. (MAIOR, 2013)

Em uma região não se tem apenas um único matacão, porém, teremos uma quantidade razoável para viabilizar o investimento de extração. Após a exaustão do mesmo, para um melhor aproveitamento do espaço de trabalho, todo o estéril gerado no processo de extração do próximo matacão, deve ser acondicionado na cava formada. Após a exaustão dos diversos matacões ou durante o processo de extração dos mesmos, deve-se recobrir com o solo estéril o local que foi acondicionado os materiais estéreis e assim, sucessivamente, até a total exaustão da jazida. Após o fechamento da cava, se recoloca o solo fértil e se inicia o replantio da área na qual foi extraído o material rochoso, como pode ser observado na figura 4 a seguir. (MAIOR, 2013)

Figura 4 - Método de extração para matacão.



Fonte: (Maior, 2013).

2.4 EXTRAÇÃO POR DESABAMENTO

Está técnica deve ser utilizada quando falhar ou foliações delimitam o maciço rochoso, tendo uma estrutura que lembra a forma de uma cebola, que consiste em fraturas subparalelas que acompanham a morfologia do maciço. (VIDAL, et al, 2013)

A técnica de extração consiste em perfurar a parte posterior do maciço e preencher os furos com pólvora negra, fazendo com que o material deslize sob seu plano de fratura, utilizando a gravidade para auxiliar o desmonte. O material se acumula no pé da encosta, como podemos observar pela figura 5. (VIDAL, et al, 2013)

Porém, esse método é muito restrito: tem baixa produtividade e, conseqüentemente, altos custos de produção, já que dificulta a movimentação dos estéreis e possui um nível de segurança crítica. (VIDAL, et al, 2013)

Figura 5 - Lavra por desabamento, onde é possível verificar o plano de fratura da rocha.



Fonte: (O autor, 2018).

2.5 EXTRAÇÃO POR BANCADAS

Este método de lavra pode ser realizado em bancadas únicas ou múltiplas bancadas, com ângulo de 90°. Este ângulo só é possível por se tratar de um material homogêneo e competente, formando faces verticais, que evoluem lateralmente em forma de “L”. Esta técnica é utilizada por diversas pedreiras de rocha ornamental. (ALENCAR, 1996)

Este método traz vantagens para a exploração de rocha ornamental, já que possibilita o trabalho em diversas frentes de forma simultânea, podendo incrementar a produção do empreendimento caso seja necessário, assim como a possibilidade de fugir dos defeitos que diminuem a qualidade do material ornamental. A altura das bancadas é função direta das

características da jazida, e, neste sentido, podem ser subdivididas em bancadas baixas e bancadas altas. (MENEZES, 2005)

2.5.1 Bancadas Baixas

Esta metodologia tem uma variação de sua altura que vai de 1,8m a 6,0m. É um método de baixa produtividade e possibilita a retirada de material pétreo, quase sempre, já com as dimensões do bloco comercial, necessitando de pouco trabalho de desdobramento de blocos. (MENEZES, 2005)

Este método é utilizado, preferencialmente, quando o maciço rochoso apresenta famílias de fraturas sub-horizontais ou fraturas de alívio de tensão, limitando o tamanho da bancada, assim como o maciço deve ser homogêneo, minimizando o aparecimento de defeitos que comprometam a extração do material pétreo, como pode ser observado na figura 6. (MENEZES, 2005)

Figura 6 - Lavra de bancadas baixas, em múltiplas bancadas.



Fonte: (PINHEIRO, 2003).

2.5.2 Bancadas Altas

A extração por meio de bancadas altas é utilizada pela maior parte das empresas de extração de granito, já que sua altura pode variar de 6,0 m a 20,0 m. Este método permite uma

maior seletividade e uma boa produtividade, podendo atuar em diversos níveis, com operações mais complexas que as de bancadas baixas. O aprimoramento desta técnica levou as empresas a desmontarem filões com uma dimensão do bloco comercializável, ganhando em produtividade. (MENEZES, 2005)

Este método possibilita o trabalho em maciços heterogêneos, podendo trabalhar em bancada única ou em múltiplas bancadas. O procedimento realizado para extração do maciço rochoso é a perfuração vertical até a altura desejada, depois a perfuração horizontal com furos coplanares com o anterior, até que ambos se encontrem, como visto na figura 7. Passa-se o fio diamantado realizando o corte horizontal (levante) e o vertical de modo a isolar as bancadas. Esta mesma bancada passa por um corte secundário. O material deste corte secundário que tem o nome de filão tem o tamanho de uma das dimensões do bloco comercial e é derrubado em uma cama de amortecimento e, logo após, desdobrado em blocos. (MENEZES, 2005)

Figura 7 - Bancada alta para extração de granito.



Fonte: (O autor, 2018).

2.6 EXTRAÇÃO SELETIVA

Este método deve ser aplicado quando o maciço rochoso apresenta famílias de fraturas preferencialmente ortogonais, possibilitando o aproveitamento destas famílias de fraturas como plano de corte do maciço, sendo necessário muitas vezes apenas mais um corte

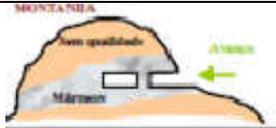
adicional, obtendo os volumes liberados para as posteriores fases de extração. (ALENCAR, et al, 1996)

Normalmente, este processo é de baixa produtividade, sendo necessários equipamentos potentes e versáteis para acelerar a produção. De modo geral, a pedra é bem definida e o avanço da frente de extração fica condicionado ao plano de fratura. Difere do método por desabamento, por não precisar que a confecção dos blocos se realize no local onde há a queda do material. Na lavra seletiva, é possível movimentar os blocos deixando a frente de extração livre. (ALENCAR, et al, 1996)

2.7 EXTRAÇÃO SUBTERRÂNEA

O desmonte de rocha subterrâneo utiliza as técnicas do desmonte a céu aberto, depois de criado o primeiro piso, ou seja, durante a fase de rebaixo. Por outro lado, para abrir o primeiro piso (piso de entrada) é necessário construir uma galeria cujas dimensões são função dos equipamentos a utilizar, das produções pretendidas e da morfologia da jazida, entre outros, tal como se mostra na tabela 1 a seguir. (GUERREIRO, 2000)

Tabela 1 - Métodos de exploração para Rocha Ornamental subterrânea.

Tipos de Extração	Variações	Descrição	Ilustração
Subterrânea	Flanco de Encosta	A exploração é realizada através de galerias subterrâneas, sendo o acesso realizado pelas encostas da montanha.	
	Profundidade	O acesso da jazida é realizado por um poço vertical ou uma rampa, ou por uma metodologia que combina os dois métodos.	
Misto	Flanco de Encosta	São combinados os desmontes a céu aberto e subterrâneo, são estes realizados na encosta de um monte ou montanha.	
	Profundidade	O desmonte misto em profundidade se inicia com um poço, utiliza técnicas como câmaras e pilares e outras técnicas.	

Fonte: adaptado de (GUERREIRO, 2000).

2.7.1 Métodos de Desmorte Subterrâneo:

Os principais métodos subterrâneos para rochas ornamentais são:

- Desmorte com entulhamento (corte e enchimento) - a estabilidade do maciço após o desmorte é assegurada pelo entulhamento das cavidades;
- Desmorte com abandono de pilares (câmaras e Pilares) – são deixados pilares de rocha abandonados que garantem a estabilidade do maciço.

A técnica de câmaras e pilares parece ser a mais adequada para extração de rocha ornamental. Esta técnica possibilita, de acordo com a resistência da rocha, um suporte natural onde são utilizados como pilares materiais com baixa qualidade ornamental das zonas do maciço, permitindo, além disso, o dimensionamento dos pilares evitando fraturas e fraturas de alívios que possam vir a prejudicar a resistência do pilar. Esta técnica pode utilizar uma distribuição espacial irregular dos pilares, que é devido a heterogeneidade do maciço rochoso, também podendo evoluir para câmara e salões, que é uma derivação da técnica câmara e pilares, onde se faz o rebaixamento dos pisos, caso os mesmos tenham qualidade ornamental desejada. (GUERREIRO, 2000)

Do conjunto dos métodos de desmorte tradicionais, o desmorte com abandono de pilares é o que oferece melhores resultados, atendendo à especificidade da exploração subterrânea, em termos da conservação da integridade do maciço rochoso adjacente. (GUERREIRO, 2000)

2.8 FIO DIAMANTADO

Com a evolução tecnológica, o fio diamantado se caracterizou por apresentar o melhor custo benefício na extração de rocha ornamental, como pode ser observado na tabela 2, pois além de ter o menor custo de produção, tem a maior produtividade. (MARCON, 2012)

Tabela 2 - Comparativo econômico e de produção entre tecnologias de corte.

	Fio Diamantado	Argamassa Expansiva	Explosivo
Custo (R\$/m ²)	20,14	25,31	22,88
Prod. de Corte (m ² /h)	7,50	1,33	1,33
Produção (m ³ /h)	2,8	0,67	0,67

Fonte: (MARCON, 2012).

Com a vantagem do menor custo, nem sempre se pode utilizar apenas a metodologia de corte com o fio diamantado, devido à altura das bancadas. Os encarregados de frente de lavra, tendem a mesclar os diversos modelos de extração, com o objetivo de reduzir custos e tempo para extração do material. (MARCON, 2012)

A tecnologia do fio diamantado se encontra muito difundido na exploração de rocha ornamental, devido as suas vantagens produtivas, tais como um menor custo de produção (como pode ser observado na tabela 2), uma melhor velocidade de corte, diminuição de resíduos gerados. Essas vantagens fizeram com que esta técnica se tornasse tão difundida entre as empresas. (MARCON, 2012)

O fio diamantado é constituído por um cabo de aço trançado, onde se fixa as pérolas com diamantes, que podem ser eletro depositado ou sinterizada (como podemos ver na figura 8), distanciadas entre si por um plástico ou borracha especial, injetado a alta pressão ou por meio de molas. A pérola diamantada empregada pelo fio apresenta no início um diâmetro de 6,7 mm, podendo ser utilizado até atingir o diâmetro de 5,2 mm (ver figura 9). (CAVAZZANA, 2005)

Figura 8 - A esquerda são as pérolas sinterizadas utilizadas para extração de mármore, a direita são as pérolas eletro depositada utilizada para o corte do maciço rochoso.



Fonte: (CO. FI. PLAST Brasil, 2018).

Figura 9 - Ilustração de modelos de fio diamantado.



Fonte: (CO. FI. PLAST Brasil, 2018).

Para que o fio diamantado tenha um desgaste homogêneo em sua utilização, o mesmo deve sofrer uma tração de 2 (duas) voltas por metro utilizado, respeitando a direção do cabo de aço. O acionamento é realizado por meio da máquina de fio diamantado, que faz com que o fio seja tensionado no sentido do corte e entre em contato com a rocha, realizando atrito sobre ela - ver figura 10. (MAIOR, 2013)

Figura 10 - Equipamento utilizado para executar o corte com fio diamantado.



Fonte: (VENTOWAG, 2018).

A máquina de fio diamantado possui uma polia maior e um conjunto de polias menores, onde o movimento do fio é feito através da polia maior e as polias menores dão direção ao corte. A tração do mesmo é realizada através do movimento da máquina sobre os trilhos, ou seja, à medida que o corte vai sendo feito, a máquina é deslocada para trás, mantendo assim a tração ideal de corte. (MAIOR, 2013)

O fio diamantado é tracionado por um motor com roldanas no sistema. Ele é composto por um cabo de aço de 5 (cinco) mm de diâmetro, sobre o qual estão afixadas pérolas diamantadas de aproximadamente 10 mm de diâmetro, responsáveis pelo corte da rocha (figura 11). No granito, são utilizadas cerca de 40 pérolas por metro de fio. A velocidade de corte é de aproximadamente 3,0 a 16,0 m²/h, consumindo um quantitativo de 300 l/h de água. (MAIOR, 2013)

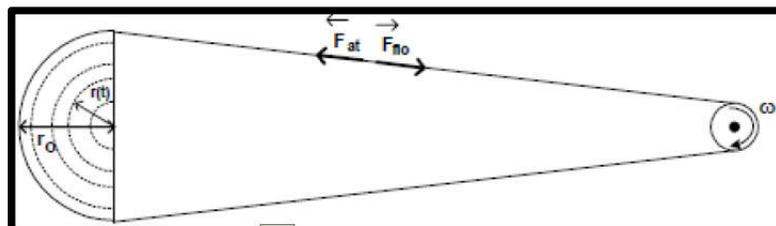
Figura 11 - Execução de corte com máquina de fio diamantado.



Fonte: (O autor, 2018).

Cavazzana, 2005 apresentou um novo esquema de corte realizado pela máquina de fio diamantado, levando em consideração que a máquina possui dois motores: O primeiro motor é responsável pela rotação da polia motriz e o segundo motor é o responsável pela translação do conjunto sobre os trilhos (ver figura 12, a seguir).

Figura 12 - Esquema do Movimento realizado pelo fio diamantado durante o processo de corte.



Fonte: (CAVAZZANA, 2005).

A produtividade (P) do corte com fio diamantado pode ser medida através da equação 1, segundo Cavazzana, 2005.

$$P = \frac{(\pi \cdot r_0^2 / 2) \cdot 3600}{t_{\text{total_corte}}} \quad [\text{m}^2/\text{h}]$$

[1]

Onde:

r_0 = Raio inicial do corte;

$t_{\text{total corte}}$ = tempo total de corte

Os cortes verticais e de fundo também são realizados com a utilização da máquina de fio diamantado. Para a execução deste corte, são utilizadas roldanas condutoras para direcionar o fio sobre o volume de rocha a ser isolado. A utilização destas roldanas permite que o corte seja realizado em espaços reduzidos.

2.9 PERFURAÇÃO E CORTE EM AFLORAMENTOS ROCHOSOS

Os cortes das bancadas são efetuados com uso do fio diamantado. São feitos cortes verticais nas laterais do painel, assim como o corte horizontal (denominado de levante), tendo um excelente acabamento dos cortes se comparado com os demais métodos. Para que se possa realizar este tipo de trabalho, é necessário realizar um furo na vertical e dois furos na horizontal na parte inferior da bancada, de forma que estes dois furos se encontrem com o furo vertical. Após os furos estarem prontos e se encontrarem, deve-se passar um cabo guia, que pode ser um fio de náilon com o auxílio do ar comprimido. O fio diamantado é amarrado ao fio de náilon, onde ele é passado por toda a extensão dos furos. (MAIOR, 2013)

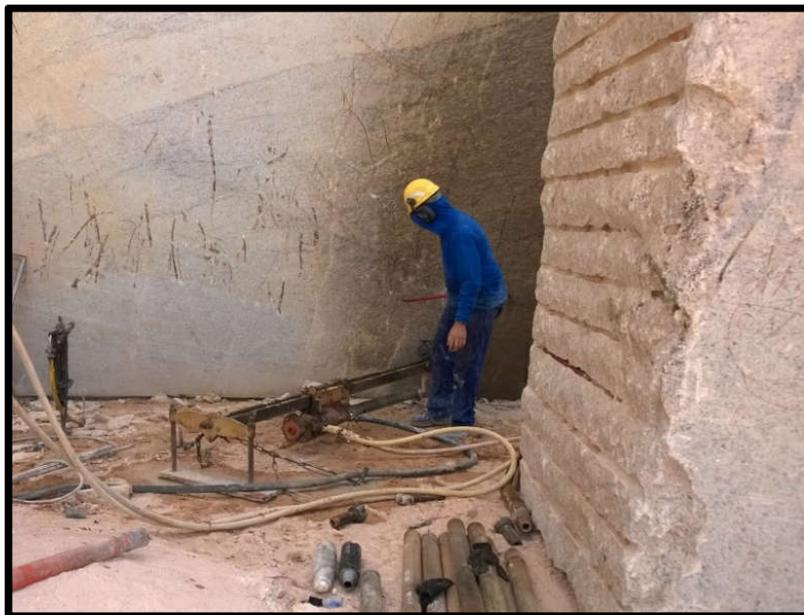
A figura 13 e 14, a seguir, representa a perfuração horizontal com martelo, para inserção do fio diamantado no maciço rochoso.

Figura 13 - Martelo pneumático realizando perfuração horizontal.



Fonte: (O autor, 2018).

Figura 14 - Equipamento de fundo de furo e coluna, realizando perfuração horizontal.



Fonte: (O autor, 2018).

Já na figura 15, é possível ver uma perfuratriz de coluna, realizando uma perfuração vertical para passar o fio diamantado.

Figura 15 - Perfuratriz de coluna vertical (Sonda).



Fonte: (O autor, 2018).

Na figura 16, podemos observar a sonda rotativa utilizada para realizar a perfuração vertical e a sua ancoragem no maciço rochoso.

Figura 16 - Equipamento utilizado para realizar a perfuração vertical, em maciço rochoso.



Fonte: (O autor, 2018).

2.10 TÉCNICAS DE DERRUBADA DE BANCADA ALTA E ULTRA ALTA

Com a evolução tecnológica, ao longo do tempo, os métodos de extração de bancadas evoluíram junto. Esta mudança aconteceu também no que diz respeito à altura das bancadas, onde se passou a utilizar, com mais frequência, as bancadas altas e ultra-alta, já que esta alteração permite uma maior produção por ciclo de extração. (VIDAL, et al, 2013)

2.10.1 Macaco Hidráulico

O Macaco hidráulico funciona com um braço extensor que vai empurrar o filão até seu total desequilíbrio para o tombamento. Ele é composto por um cilindro hidráulico e uma central móvel que serve para o seu acionamento. Esta central permite acionar, simultaneamente, vários destes cilindros com diferentes tamanhos. (VIDAL, et al, 2013)

Este cilindro deve ser inserido entre o maciço rochoso e a bancada já isolada. Ao se dar início a operação, o cilindro terá seu braço expandido até que o filão se desestabilize

(como visto na figura 17), fazendo com que o mesmo caia em cima da cama de amortecimento. (VIDAL, et al, 2013)

Figura 17 - Macaco hidráulico em operação.



Fonte: (VIDAL, et al, 2013).

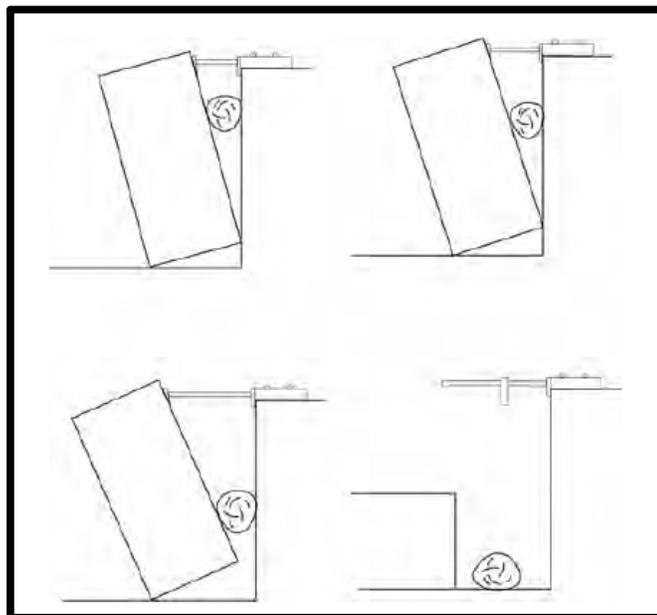
É possível observar que este equipamento tem suas limitações neste tipo de operação, sendo limitado a derrubar bancadas com base de 2,8m a 3m, largura de 9 m e altura de 10 m, sendo possível alcançar maiores alturas, caso se utilize de um braço extensor, como mostra a figura 18. (VIDAL, et al, 2013)

Metodologia de utilização:

1. Expansão do braço mecânico para empurrar o painel até 0,80m, depois colocar uma pedra na abertura;
2. Retração do braço mecânico à posição inicial para instalação de um prolongador de 0,70m;
3. Expansão do braço mecânico para conseguir um afastamento do painel de 1,5m; depois a retração do braço e posterior do prolongador de 0,70m por um de 1,4m.

4. Expansão do braço mecânico para conseguir uma abertura de 2,10m. A operação anterior será repetida até o terceiro prolongador que permite uma abertura de 2,80m e em consequência disso o tombamento do quadrote.

Figura 18 - Tombamento de filão, através de macaco hidráulico.



Fonte: (VIDAL, et al, 2013).

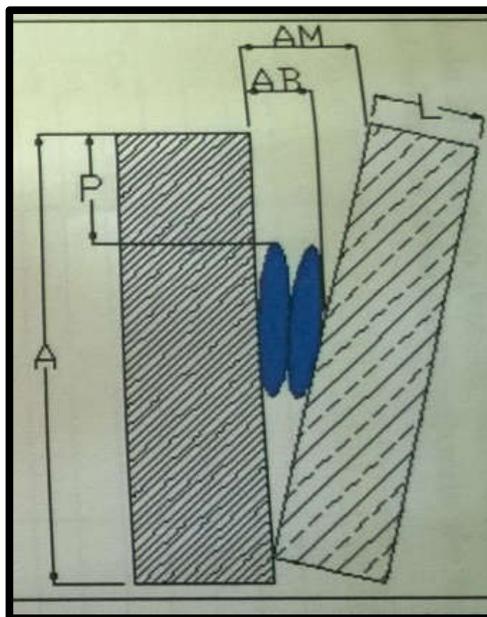
2.10.2 Colchão Inflável

O travesseiro pneumático consiste em uma almofada que pode ser metálica ou de polímeros especiais, onde a mesma deve ser introduzida na parte trincante da bancada, realizando um movimento semelhante ao macaco hidráulico. Este equipamento pode ser aplicado em diversas quantidades a depender do tamanho da bancada ou filão que se pretende desestabilizar; estes são preenchidos com ar comprimido ou água, aumentando seu volume e produzindo o desequilíbrio da banca até o seu tombamento. (VIDAL, et al, 2013)

Os colchões hidráulicos são acionados por meio da injeção de água e são conectados a uma central acionada por um motor elétrico, que permite o uso de três ou mais colchões. A espessura dos colchões infláveis é adequada para que o colchão seja colocado no interior do corte produzido pelo fio diamantado. Já os colchões infláveis pneumáticos, trabalham com a injeção de ar comprimido. A operação dos dois equipamentos ocorre de maneira similar. Os colchões são introduzidos não inflados nos cortes, previamente feitos por fio diamantado. Sua

pequena espessura permite que os colchões sejam introduzidos e deslizem sem dificuldade através dos cortes. Uma vez dentro dos cortes, são preenchidos com ar comprimido ou água de modo que se consiga realizar o tombamento do filão, como na figura 19. (VIDAL, et al, 2013)

Figura 19 - Travesseiro pneumático desestabilizando o filão.



Fonte: (CARLETI, 2015).

Como observado na tabela 3, este método tem restrição com a altura dos filões, utilizando outra metodologia para bancadas ultra altas. (CARLETI,2015)

Passo a passo para utilização de travesseiros pneumáticos:

1. Limpar as bordas e as superfícies da bancada, para evitar que restos de material rochoso danifiquem o travesseiro;
2. Introduzir os travesseiros na fenda;
3. Colocar as chapas metálicas de proteção entre os cantos cortantes da bancada e o travesseiro;
4. Conectar o travesseiro as mangueiras de inflar e ao painel de controle de pressão;
5. Conectar a central de pressão a fonte de ar comprimido;

Iniciar a operação de liberação do ar comprimido, calçar o quadrote para que não retorne e danifique o travesseiro.

Tabela 3 - Relação altura da prancha x travesseiro pneumático.

A (m)	L (m)	P (m)	AM (m)	AB (m)
8	2	2,3	1,89	1,1
8	2,5	2,3	2,26	1,28
8	3	2,3	2,56	1,4
9	2	2,8	1,92	1,1
9	2,5	2,8	2,31	1,3
9	3	2,8	2,55	1,4
10	2	3,3	1,94	1,1
10	2,5	3,3	2,33	1,3
10	3	3,3	2,55	1,4
12	2	4,3	1,97	1,1
12	2,5	4,3	2,35	1,3
12	3	4,3	2,57	1,4
15	2	5,8	2,01	1,1
15	2,5	5,8	2,39	1,3
15	3	5,8	2,86	1,4

Fonte: (CARLETI, 2015).

Onde A será a altura, L será a largura da bancada, P o profissional desce a bolsa pela fenda do fio diamantado, AM será a abertura máxima em metros e AB será a abertura promovida pela bolsa.

2.11 BOCA DE LOBO

Com a utilização das bancadas ultra-altas, foi necessário desenvolver um novo método para desestabilizá-la e promover a sua queda. Com isso, surgiu o método da boca de lobo, no qual consiste em formar uma cunha na base da bancada, isolado do resto, para posteriormente, ser removido por meio de explosivos, promovendo a desestabilização e o tombamento da mesma. O isolamento desta cunha é de suma importância, pois se acredita que este corte venha a amenizar as ondas de choques causada pelo desmonte com explosivos. (SILVA, et al, 2018)

2.11.1 Boca de Lobo com Martelo Pneumático

Utilizando martelos pneumáticos, confecciona-se um plano de fratura com execução de vários furos paralelos e com uma inclinação pertinente em relação ao plano horizontal, na base da prancha (figura 20). Estes furos devem ser longos o suficiente para ultrapassar mais da metade da espessura do painel vertical. (SILVA, et al, 2018)

Figura 20 - Em vermelho pode ser visto a perfuração inclinada com martelo pneumático, na frente da bancada, com ângulo aproximado de 30° formando a "boca de lobo".



Fonte: (SILVA, et al, 2018).

A boca de lobo deve ter uma altura variando entre 2m a 3m, aproximadamente, formando um ângulo pertinente e comprimento que deve chegar a alcançar a parte trincante do painel vertical, conforme figura 21. A utilização de explosivos para desestabilizar a “boca de lobo” ocorrerá através do próprio plano de fratura, criado na perfuração com os martelos. Para possibilitar que se encontre a altura adequada da boca de lobo, deve-se utilizar a equação 2. (SILVA, et al, 2018)

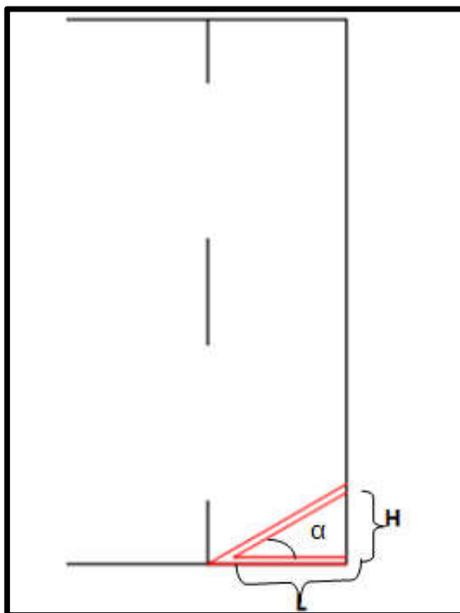
$$H = \operatorname{tg}\alpha \times L \quad (2)$$

Onde:

H = Altura da “boca de lobo”;

L = Largura da “boca de lobo” é igual a largura da bancada;
 α = Ângulo da “boca de lobo”.

Figura 21 - Geometria da bancada, que possibilita encontrar a altura da "boca de lobo".



Fonte: (SILVA, et al, 2018).

2.11.2 Boca de Lobo com fio diamantado

Para confecção da boca de lobo com fio diamantado, o operador de martelo faz um único furo horizontal na parte lateral da bancada, contemplando todo o comprimento do painel. Em seguida faz um único furo inclinado na frente do painel vertical na altura desejada da boca de lobo, de modo que os dois furos se encontrem; após executados estes dois furos, a passagem do fio diamantado é executada da mesma forma que se faz no corte da bancada, como observado na figura 22. (SILVA, et al, 2018)

Para que ocorra a desestabilização da bancada, após o corte com fio diamantado formando a cunha na base da mesma, é necessário perfurar a lateral da boca de lobo, realizando um plano de fogo, onde será inserindo explosivo nos furos. Se a boca de lobo tiver altura menor que 1 m, se faz uma única linha de furo; caso a altura seja maior que 1 m, faz-se duas ou mais linhas de furo no formato pé de galinha, para inserção da pólvora, como pode ser visto na figura 23. Com o explosivo já inserido nos furos e feito toda a amarração com cordel, executasse o desmonte da boca de lobo, promovendo a desestabilização do centro de

massa do painel vertical, levando o mesmo a cair sobre uma cama de amortecimento. (SILVA, et al, 2018)

Figura 22 - Imagem frontal da "boca de lobo" cortada com fio diamantado em vermelho, assim como pode ser visto em amarelo o furo inclinado.



Fonte: (SILVA, et al, 2018).

Na figura 23, podemos observar a perfuração lateral da boca de lobo, com o objetivo de inserir explosivos e promover o tombamento da mesma pela desestabilização, causada pelo desmonte da boca de lobo.

Figura 23 - Boca de lobo cortada com fio diamantado em vermelho e perfuração lateral para inserção de explosivos em amarelo.



Fonte: (SILVA, et al, 2018).

Contudo, estas especificações são realizadas de forma empírica, não levando em consideração as dimensões do painel vertical que está sendo lavrado, o que não garante que a boca de lobo desestabilizará o painel e, conseqüentemente, o mesmo poderá não tombar, já que no momento do desmonte é possível que a cunha não seja desmontada por completo. Assim, foram coletadas as dimensões dos painéis e as alturas reais das bocas de lobo construídas na pedreira em estudo, criando uma relação empírica para a padronização da confecção das bocas de lobo. (SILVA, et al, 2018)

A partir do levantamento realizado em campo, foi obtida a altura real da boca de lobo, que é apresentado na tabela 4 e 5. De posse destas informações, pode ser desenvolvida uma nova relação empírica entre a largura da boca de lobo e a sua altura, com o objetivo de padronizar a sua confecção nas pedreiras de rocha ornamental, garantindo que no momento do desmonte a mesma descalce o painel vertical, levando-o ao tombamento e conseguindo uma máxima recuperação da bancada. (SILVA, et al, 2018)

Tabela 4 - Dados obtidos na frente de extração, para alturas entre 20m a 55m.

Bancada	A (m)	L (m)	Ar (m)	C (m)	Ar/L
01	54,00	12,00	4,00	38,00	0,33
02	50,00	10,00	3,00	15,00	0,30
03	27,00	6,00	2,20	23,60	0,37
04	23,00	6,00	2,00	13,00	0,33
Média 1					0,33

Tabela 5 - Dados obtidos na frente de extração obtidos para alturas superiores a 55m.

Bancada	A (m)	L (m)	Ar (m)	C (m)	Ar/L
05	57,00	12,00	2,00	21,00	0,17
06	78,00	15,00	2,50	22,00	0,17
07	57,00	13,00	2,00	23,00	0,15
08	64,00	14,00	2,40	29,00	0,17
09	74,00	12,00	2,50	15,00	0,21
10	94,00	15,00	2,50	18,00	0,17
Média 2					0,17

Fonte: (Silva, et al, 2018).

onde: A = altura do painel vertical, L = largura do painel vertical, Ar = altura real da boca de lobo (obtida na frente de extração), C = comprimento do painel vertical e Ar/L = relação altura da boca

de lobo pela largura da mesma, Média 1 = paineis variando de 20m a 55m e Média 2 = paineis variando de 55m a 94m.

As equações 3 e 4, mencionadas a seguir, levam em consideração a relação entre a altura da boca de lobo e sua largura:

Para alturas variando de 20m a 55m

$$A = 0,33 \times L \quad (3)$$

Onde:

A = altura da boca de lobo;

L = largura do painel vertical.

Para alturas variando de 55m a 94m

$$A = 0,17 \times L \quad (4)$$

Onde:

A = altura da boca de lobo;

L = largura do painel vertical.

Assim, foi adicionada uma constante de correlação entre a altura da boca de lobo e a sua largura, sendo esta correlação uma média dos valores usuais, garantindo o emprego da mesma o mais próximo da praticada habitualmente nas pedreiras de rocha ornamental. (Silva, 2018)

2.12 SISTEMA DE ABSORÇÃO DE IMPACTOS

A cama de amortecimento é confeccionada nas frentes de extração de rocha ornamental com material terroso ou utilizando material terroso e restos de blocos, sendo mais larga que a bancada e possuindo o comprimento maior que a altura da bancada, tendo sua altura adaptada aos parâmetros geométricos da bancada, sendo capaz de amortecer o tombamento do quadrote. Com uma forma geométrica de base retangular, onde o lado mais

próximo ao quadrote é mais baixo e o lado oposto é mais alto, a figura 24 a seguir nos mostra a geometria da cama de amortecimento. (Silva, 2018)

Figura 24 - Cama de amortecimento esperando para o tombamento do quadrote.



Fonte: (Silva, 2018).

2.13 CENTRO DE MASSA

O centro de massa é o ponto hipotético, onde toda a massa de um sistema físico está concentrada e que se move como se todas as forças externas estivessem sendo aplicadas nesse ponto. Se o sistema for constituído por um corpo, o centro de massas pode ser considerado como o ponto onde, aplicada uma força, o corpo se move sem rotacionar. Se o sistema for constituído por mais de um corpo, o centro de massa será o ponto em que se unirem os corpos, em suas respectivas posições, por um elemento que os integre. (WALKER, 2016)

2.14 MOMENTO DE INÉRCIA

O momento de inércia, expressa o grau de dificuldade em se alterar o estado de movimento de um corpo em rotação. Diferentemente da massa inercial (que é um escalar), o momento de inércia ou Tensor de Inércia também depende da distribuição da massa em torno de um eixo de rotação, escolhido arbitrariamente. Quanto maior for o momento de inércia de

um corpo, mais difícil será girá-lo ou alterar sua rotação. Contribui mais para o aumento do valor do momento de inércia a porção de massa que está afastada do eixo de giro. Em mecânica clássica, momento de inércia também pode ser chamado inércia rotacional. (WALKER, 2016)

2.15 LEIS DE NEWTON

A primeira lei de Newton nos fala que, se nem uma força atuar sobre um corpo, sua velocidade não será alterada, assim o corpo não sofre uma aceleração, como também uma desaceleração. (HALLIDAY, 2012)

A segunda lei de Newton nos fala que a força resultante que atua em um corpo, é igual ao produto de sua massa multiplicado por sua aceleração. Se a aceleração for zero, as forças atuantes vão ser nulas. Mas, caso tenhamos a menor aceleração possível, teremos uma força resultante, fazendo com que este corpo se locomova. (HALLIDAY, 2012)

A terceira lei de Newton afirma que, quando dois corpos interagem, as forças que cada um dos corpos exerce sobre o outro são iguais, mas com sentido e direção opostos. Em resumo, para cada ação existe uma reação de igual valor, mas sentido e direção oposta. (HALLIDAY, 2012)

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estado do Espírito Santo tem o setor de rocha ornamental como destaque em sua economia, sendo responsável por cerca de 10% de seu PIB, gerando mais de 200.000 empregos diretos e indiretos. Este estado é responsável por 70% das exportações de rochas ornamentais do país; os investimentos do setor de rochas se concentram em 90% no estado do Espírito Santo, fazendo com que o estado tenha um dos parques industriais mais modernos do setor, como pode ser observado na figura 25. (SARDOU FILHO, 2013)

O Brasil tem capacidade de extrair e beneficiar uma grande variedade de rochas ornamentais (aproximadamente 1200 tipos). Estes, estão divididos em 1500 frentes de lavra, ocupando cerca de vinte mil trabalhadores, uma produção média de 520 toneladas por trabalhador, com uma predominância de rochas silicáticas. (Sardou Filho, 2013)

Segundo dados do Anuário Mineral Brasileiro (AMB), as reservas recuperáveis (30% das reservas medidas) são da ordem de 6 bilhões de m³ de rochas ornamentais no Brasil, não existindo estatísticas consolidadas sobre as reservas mundiais, mas com uma produção de 10,1 milhões de toneladas, como pode ser observado na tabela 6.

Tabela 6 - Produção de Rocha Ornamental, por tipo de rochas.

Tipo de Rocha	Produção (Milhões de t)	Participação (%)
Granito e Similares	5,0	50,0
Mármore e Travertinos	2,1	20,0
Quartzito Maciço	0,9	9,0
Ardósia	0,5	5,0
Quartzito Foliado	0,4	4,0
Pedra Miracema	0,2	2,0
Outros (Basalto, Pedra Cariri, Pedra Sabão e etc.)	1,0	10,0
Total	10,1	100

Fonte: (ABIROCHAS, 2014).

Figura 25 - Parque industrial do Estado do Espírito Santo.



Fonte: (ANPO, 2018).

3.1 GEOLOGIA REGIONAL

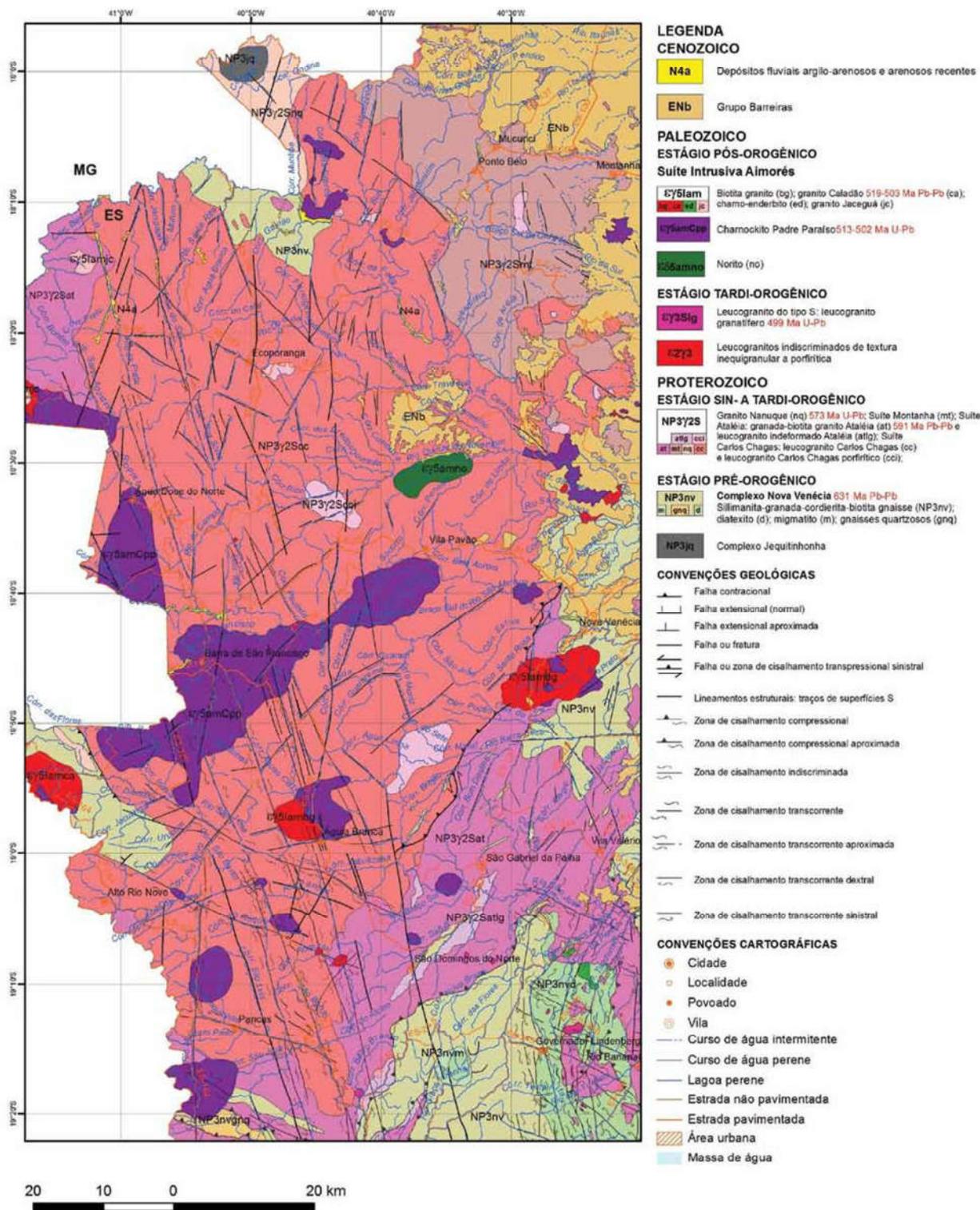
Segundo Almeida (1977), o estado do Espírito Santo acha-se inserido no sistema orogênico da Mantiqueira, o qual constitui uma entidade geotectônica de idade Neoproterozóica estruturada na direção NNE – SSW, bordejando a porção leste do craton do São Francisco. Esta entidade é constituída por um cinturão de rochas metamórficas, dobradas em parte migmatizadas, incluindo suítes granitoides de idades e natureza composicional

diversas, comprovando a existência de eventos magmáticos distintos ao longo de sua evolução orogênica. (SARDOU FILHO, 2013)

O embasamento cristalino do estado do Espírito Santo encerra uma história geológica que vai desde o Paleoproterozóico aos eventos Neoproterozóico, relacionados à Orogênese Brasileira e posteriormente afetados durante o Fanerozóico, quando da formação das coberturas sedimentares cenozoicas. (SARDOU FILHO, 2013)

Relacionados aos eventos datados do Neoproterozóico, tem-se como rochas mais antigas os paragneisses e os gnaisses movimentados de coloração amarelo dourada, os quais compõem o complexo Nova Venécia figura 26, constituídos por silimanita-granada-cordierita gnaisses bandados bem foliados, contendo intercalações calcissilicáticas, quartzíticas e anfibolíticas. São formados por níveis escuros apresentando biotita, cordierita e granada em alternância com leitos ricos em minerais félsicos de composição quartzo-feldspática. Nas zonas migmatizadas ocorrem transposição de estruturas estromáticas para núcleos mais homogêneos, diatexíticos. (SARDOU FILHO, 2013)

Figura 26 - Mapa geológico do Noroeste capixaba.



Fonte: (SARDOU FILHO, 2013).

Figura 27 - Em vermelho a imagem do município de Nova Venécia - ES.



Fonte: (Google maps)

Com um relevo muito montanhoso, possui diversas jazidas de Granito. Sua formação rochosa é muito antiga, tendo se formado no pré-cambriano, seu escudo cristalino formado a cerca de 100 bilhões de anos, devido ao resfriamento do magma e aflorando graças aos diversos processos erosivos. A formação rochosa mais conhecida, vindo a se tornar o cartão postal da cidade, é a Pedra do Elefante com certa de 604m de altitude. (Cidade Brasil, 2018)

Seu clima tropical, com temperaturas elevadas de novembro a março, e a precipitação atmosférica ocorrendo no mesmo período, tem uma maior intensidade de dezembro a janeiro, quando são acompanhadas de fortes raios e trovoadas. Com o desmatamento crescente na região em conjunto com o aquecimento global, os períodos de estiagem estão se tornando mais longos. (Cidade Brasil, 2018)

4 METODOLOGIA

No período de 2014 a 2016, durante diversas visitas as frentes de extração de rocha ornamental no Espírito Santo, foi observado uma baixa padronização dos trabalhos de extração de rocha ornamental, como na confecção de boca de lobo e camas de amortecimento, elevando-se os custos das empresas.

Durante estes acompanhamentos, foi possível verificar, na prática, como as pedreiras de rocha ornamental trabalham de forma empírica e como esse trabalho é de suma importância para se averiguar a realidade e necessidade do setor. Com essa experiência, foi possível aprender como se faz as perfurações dos painéis verticais, a confecção da boca lobo e a confecção das camas de amortecimento, que destoam da bibliografia encontrada, assim como deve ser possível verificar a evolução das bancadas altas se transformando em bancadas ultra-altas.

Com este foco, iniciamos um levantamento bibliográfico e técnico para verificar o que já se tinha desenvolvido no mercado e na literatura específica do setor neste sentido, onde em sua grande maioria são encontrados textos de artigos, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e um único livro, mas na área mais específica que está voltado este trabalho (que é para confecção de camas de amortecimento e confecção de boca de lobo) pouca coisa foi encontrada, confirmando o que já se havia percebido no período de acompanhamento das pedreiras: a falta de bibliografia específica para o setor.

Visando amenizar tal dificuldade do setor em encontrar bibliografia específica, são avaliados dados empíricos coletados nas frentes de rocha ornamental durante os anos de 2015, 2016 e 2017 no que diz respeito a confecção da boca de lobo e cama de amortecimento, assim como um estudo bibliográfico para criar uma nova metodologia, onde se leve em consideração a desestabilização do centro de massa dos painéis verticais.

A coleta de dados se deu em diversas frentes de rocha ornamental no noroeste do Espírito Santo, com a utilização de uma trena de 20 m, foi possível coletar as dimensões da base das bancadas ultra-altas, como largura e comprimento. Já para coleta das alturas da boca de lobo, se utilizou uma trena tradicional de 5m, pois seria mais fácil de manusear e coletar os dados.

Já para a coleta da altura das bancadas ultra-altas, foi utilizado uma corda com peso em uma de suas extremidades, onde um operador vai até o topo da bancada ultra-alta, iniciando a sua descida e quando a mesma chega à base, marca-se o comprimento da corda. Transportando-a para um local apropriado e medido o comprimento da bancada.

Para a coleta dos dados da cama de amortecimento, são utilizadas as mesmas ferramentas, tomando suas medidas de base e altura, sendo possível assim comparar o que está sendo executado nas frentes de extração com a técnica desenvolvida neste trabalho, como pode ser observado na figura 29.

Figura 28 - Coleta de dados realizada em uma pedreira de Rocha Ornamental.



Fonte: (O autor, 2018).

Com o auxílio de bibliográfica em outras áreas das ciências exatas, será desenvolvido uma nova metodologia para dimensionamento e confecção das camas de amortecimento em tamanho adequado, assim como para a boca de lobo, de tal modo a melhorar a recuperação das bancadas ultra altas.

Ao se obter todos os dados necessários para o desenvolvimento destes métodos, poderá ser criado um aplicativo que, com a inserção dos parâmetros como altura, largura, comprimento e densidade da bancada, assim como o tipo de material que será confeccionado a cama, o aplicativo informará ao usuário todos os parâmetro que devem ser atendidos na frente de rocha ornamental para realizar a exploração de material, sem que os colaboradores necessitem fazer uma conta complexa se quer.

5 DIMENSIONAMENTO DE RUPTURA BASAL EM CUNHA (BOCA DE LOBO) E CAMAS DE AMORTECIMENTOS

A técnica de derruba de bancada ultra-alta através de ruptura basal em Cunha (boca de lobo) vem se consolidando no mercado de extração de rocha ornamental, mas ao mesmo tempo, a sua tecnologia não acompanha essa evolução. Quando observado os dados empíricos no capítulo 2, subitem 2.4.3.2, vê que a técnica utilizada no momento carece de uma padronização, já que a confecção da boca de lobo é realizada de modo aleatório. Com o desafio de se obter uma padronização deste procedimento, é proposta uma nova abordagem (técnica) para este método, com o enfoque na desestabilização do centro de massa da bancada ultra-alta.

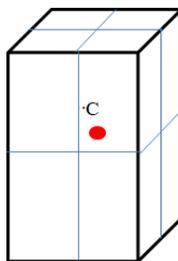
As camas de amortecimento vêm, ao longo dos anos, sendo elaborada de forma empírica, pois não se tem estudos adequados para verificar sua eficiência e o dimensionamento correto. Assim, vamos realizar um breve estudo sobre a mesma, na tentativa de realizar uma padronização da metodologia utilizada.

5.1 CÁLCULO DO CENTRO DE MASSA

O centro de massa de um corpo é o ponto onde toda a massa do mesmo pode ser encontrada, correspondendo a qualquer ponto espacial do mesmo, podendo ser observado como o ponto onde a força gravitacional atua no corpo sólido “centro de massa do corpo”. (HALLIDAY, 2012)

No nosso caso, o cálculo do centro de massa de um prisma retangular, deve-se traçar retas que cortam as faces do prisma ao meio e a intersecção de todas as retas se dará no centro de massa do corpo, como pode ser visto na figura 30.

Figura 29 - Em vermelho o centro de massa de um prisma de base retângular.



Fonte: (O autor, 2018).

Para que possamos fazer os cálculos do centro de massa de um prisma retangular (painel vertical), primeiro temos de tomar todas as medidas do mesmo. Neste momento, vamos tomar a medida de 10 bancadas ultra-altas, como pode ser observado na tabela 7, para podermos realizar o cálculo do centro de massa de cada um deles.

Para se obter a altura do centro de massa de um prisma de base retangular homogêneo, deve ser utilizada a equação 5, onde encontraremos a posição do centro de massa para o eixo x. A equação 6 nos dará a posição do centro de massa no eixo y e a equação 7, onde vamos obter a posição do centro de massa no eixo z:

$$x_{cm} = \frac{1}{V} \int x \, dV \quad (5)$$

$$y_{cm} = \frac{1}{V} \int y \, dV \quad (6)$$

$$z_{cm} = \frac{1}{V} \int z \, dV \quad (7)$$

Onde:

X_{cm} = ponto do eixo x do centro de massa;

Y_{cm} = ponto do eixo y do centro de massa;

Z_{cm} = ponto do eixo z do centro de massa;

V = volume do painel vertical;

dV = derivada do volume;

x, y, z = ponto do eixo de coordenadas.

Tabela 7 - Dimensões dos painéis verticais para cálculo do centro de massa.

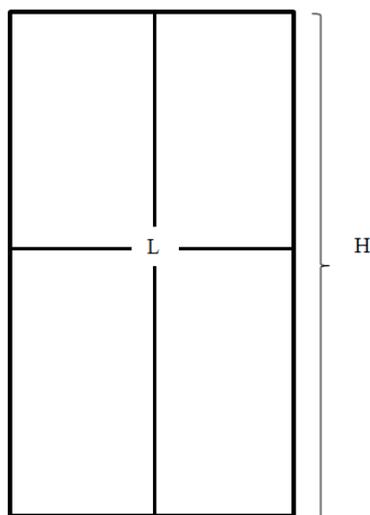
Bancada	C (m) (X)	L (m) (Y)	H (m)(Z)
1	38	12	54
2	15	10	50
3	23,6	6	27
4	13	6	23
5	21	12	57
6	22	15	78
7	23	13	57
8	29	14	64
9	15	12	74
10	18	15	94

Fonte: (O autor, 2018).

Onde: temos C como comprimento da bancada, L a largura da bancada e H altura da bancada.

Para efeito de simplificação dos cálculos, deve-se considerar que o comprimento de cada bancada ultra-alta é a única dimensão que não se altera durante sua extração. Podemos trabalhar esta bancada em apenas duas dimensões, transformando o prisma retangular em um retângulo, como observado na figura 31, onde a interseção de duas retas que cortam a metade de cada lado do retângulo nos dará o centro de massa. Com isso, podemos determinar exatamente onde o mesmo se encontrará com as equações 8 e 9, a seguir:

Figura 30 - Retângulo com as retas indicando o local do centro de massa.



Fonte: (O autor, 2018).

$$C.M. = \frac{H}{2} \quad (8)$$

$$C.M. = \frac{L}{2} \quad (9)$$

Onde:

C.M = é o centro de massa;

H = altura da bancada ultra alta em m; e

L = largura da bancada ultra alta em m.

Devido a simplificação do modelo obtido pelas equações 8 e 9 para o cálculo do centro de massa, podemos observar na tabela 8 o ponto exato do centro de massa da bancada. Este ponto vai ser importante para as etapas seguintes, pois a partir dele será possível efetuar o desmonte da boca de lobo.

Tabela 8 - Local onde será encontrado o centro de massa das 10 bancas.

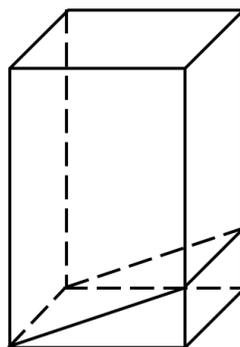
Bancada	L (m)	H (m)	L/2 (m)	H/2 (m)
1	12	54	6	27
2	10	50	5	25
3	6	27	3	13,5
4	6	23	3	11,5
5	12	57	6	28,5
6	15	78	7,5	39
7	13	57	6,5	28,5
8	14	64	7	32
9	12	74	6	37
10	15	94	7,5	47

Fonte: (O autor, 2018).

Onde: temos o L a largura da bancada ultra alta e H a altura da bancada ultra alta.

O passo seguinte é descalçar a bancada ultra-alta, através da metodologia da boca de lobo. Este procedimento é realizado após a bancada estar isolada do maciço rochoso, onde se faz um corte inclinado (formando uma cunha com a horizontal) na base da bancada, de modo que esta cunha após ser retirada da mesma, promova sua desestabilização (queda) do material pétreo, conforme a figura 32.

Figura 31 - Bancada antes do desmonte da "boca de lobo", onde é possível verificar a cunha formada para desestabilizá-la.

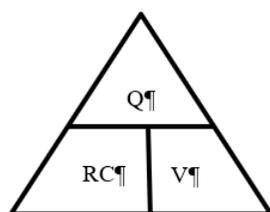


Fonte: (O autor, 2018).

Assumindo que o comprimento não será alterado, vamos trabalhar a imagem em duas dimensões, de modo a simplificar os cálculos. Após o corte da cunha, promove-se o desmonte da mesma com auxílio de pólvora negra e cordel, realizando furos na lateral da bancada ultra-alta. Estes furos são sub-horizontais que servem para a inserção da pólvora negra (que é um explosivo deflagrante), minimizando o impacto causado pela utilização dos explosivos, já que o mesmo geram poucas ondas de choque que podem vir a danificar o material pétreo.

Segundo Duarte, (2013) ele simplificou a forma de encontrar a quantidade de explosivos para o setor de rocha ornamental, criando um triângulo, como pode ser observado na figura 33. Através deste triângulo, é possível calcular a razão de carga ou quantidade de explosivos, já que o volume de material desmontado será obtido na frente de extração.

Figura 32 - Cálculo da quantidade de pólvora negra utilizado no plano de fogo para Rocha Ornamental.



Q = Quantidade de explosivos (gramas);

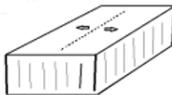
RC = Razão de Carregamento (kg/m^3);

V = Volume da Rocha (m^3);

Fonte: (DUARTE, 2013).

Duarte, em seu material de desmonte para rochas ornamentais, criou a tabela 9, onde encontramos a razão de carga média para um determinado tipo de desmonte. Encontrando os valores de duas variáveis, pode-se encontrar a quantidade de explosivo necessário para executar o desmonte da boca de lobo.

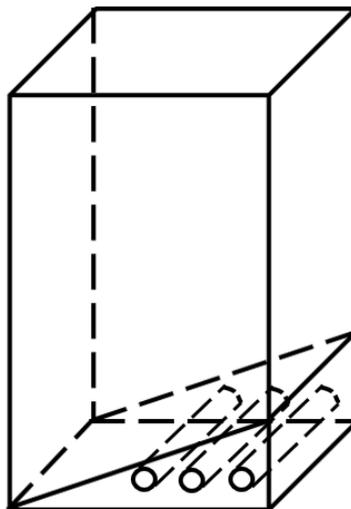
Tabela 9 - Razão de carregamento para os diversos tipos de desmonte de rocha.

Tipos	Natureza da Operação	Razão de Carregamento Máxima	Desenho
01	Bancada para Fragmentação	500 g/m^3	
02	Bancada para recorte com cordel	16 a 30 g/m^3	
03	Bancada para recorte com pólvora negra	22 g/m^3	

Fonte: (DUARTE, 2013).

Na figura 34, temos uma vista lateral em 3D dos furos que foram realizados com martelo pneumático, para realizar o desmonte da boca de lobo da referida bancada ultra-alta.

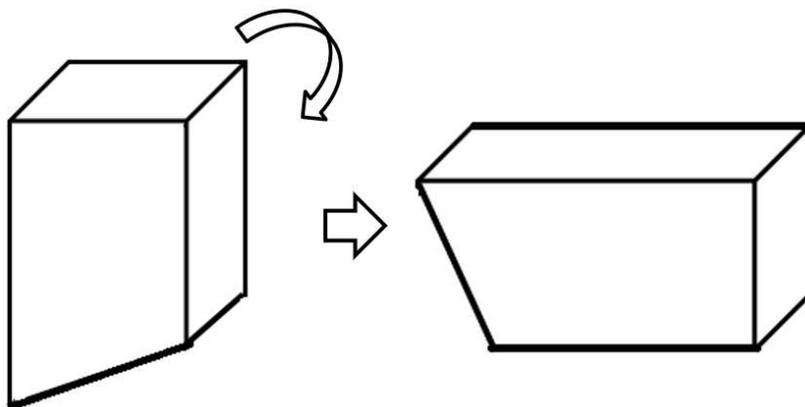
Figura 33 - Vista Lateral da "boca de lobo" com os furos horizontais, para a inserção dos explosivos.



Fonte: (O autor, 2018).

Após o desmonte da boca de lobo, formamos uma nova figura geométrica, como podemos observar na figura 35, onde será alterado o centro de massa da bancada ultra-alta, promovendo a sua desestabilização e levando a mesma a tombar em cima de uma cama de amortecimento. Sempre lembrando que o comprimento não é alterado, então podemos trabalhar com duas dimensões.

Figura 34 - A esquerda bancada já descalçada, e a direita a bancada tombada.



Fonte: (O autor, 2018).

Um corpo rígido que tiver alguma liberdade de movimento e o mesmo se encontrar sobre ação da força de gravidade, o seu centro de massa tende a assumir a posição mais baixa possível. Com isso, após a alteração causada no centro de massa da bancada ultra-alta devido a remoção da boca de lobo, o mesmo causa a instabilidade da bancada, fazendo com que a força da gravidade leve a mesma a tombar, levando o centro de massa ao ponto mais baixo possível. (Halliday, 2012)

5.2 CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA

Mas para que a bancada ultra-alta realize este movimento, o mesmo tem que vencer o seu momento de inércia, que é uma resistência imposta por um corpo a uma mudança de sua velocidade. Este valor depende da massa do corpo e da distância do ponto de rotação, com pode ser observado na equação 10. (Halliday, 2012)

$$I = m \times R^2 \quad (10)$$

Onde:

I = momento de Inércia em Kg x m²;

m = Massa do painel vertical em Kg;

R = distancia da massa ao ponto de rotação em m.

Para utilizarmos a equação 10, é necessário encontrar a massa da bancada ultra-alta. Para encontrarmos sua massa, temos de achar o seu volume (que se dará pela equação 11) e, em seguida, multiplicamos o mesmo pela sua densidade que é de aproximadamente $\rho = 2,7$ Kg/m³. Este valor é proveniente das informações coletadas na região pesquisada. Para se calcular o volume, podem ser multiplicados os valores das três dimensões, como visto a seguir:

$$V = A \times L \times C \quad (11)$$

Onde:

V = volume da bancada em m³;

A = altura da bancada em m;

L = largura da bancada em m;

C = comprimento da bancada em m.

Após se encontrar os valores do volume de cada bancada, o passo seguinte é com a utilização da equação 12, vamos encontrar a massa da bancada que será derrubada.

$$M = V \times \rho \quad (12)$$

Onde:

M = a massa da banca ultra alta em Kg;

V = é o volume da bancada em m^3

P = densidade do material que será de $2,7 \text{ Kg}/m^3$

Na tabela 10, podemos verificar os valores do volume e da massa encontrados para cada uma das 10 bancadas analisadas neste trabalho.

Tabela 10 - Massa e volume das bancadas pesquisadas.

Bancada	C (m)	L (m)	A (m)	V (m^3)	M (Kg)
1	38,00	12,00	54,00	24.624,00	66.484,80
2	15,00	10,00	50,00	7.500,00	20.250,00
3	23,60	6,00	27,00	3.823,20	10.322,64
4	13,00	6,00	23,00	1.794,00	4.843,80
5	21,00	12,00	57,00	14.364,00	38.782,80
6	22,00	15,00	78,00	25.740,00	69.498,00
7	23,00	13,00	57,00	17.043,00	46.016,10
8	29,00	14,00	64,00	25.984,00	70.156,80
9	15,00	12,00	74,00	13.320,00	35.964,00
10	18,00	15,00	94,00	25.380,00	68.526,00

Fonte: (O autor, 2018).

Onde C é o comprimento da bancada, L é a largura da bancada, A é a altura da bancada, V é o volume da bancada e M a massa da bancada que está sendo trabalhada.

5.3 CÁLCULO DA ENERGIA CINÉTICA ROTACIONAL

Para realizar o cálculo da cinética rotacional, temos de calcular a velocidade angular. Contudo, antes de realizar o cálculo da velocidade angular, temos de encontrar o tempo que o

painel vertical leva para realizar sua desestabilização e chegar ao chão. Como queremos verificar se altura da boca de lobo é suficiente para realizar o tombamento do painel vertical, vamos trabalhar com os ângulos que são encontrados com os dados obtidos de forma empírica na extração de rocha ornamental, conforme a tabela 11.

Tabela 11 - Ângulos tomados de acordo com os dados empíricos, coletados em campo.

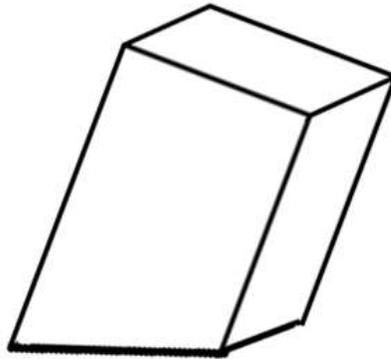
Bancada	L (m)	Hb (m)	α (rad)
1	12	4	6,0
2	10	3	7,0
3	6	2,2	11,0
4	6	2	10,6
5	12	2	5,0
6	15	2,5	4,6
7	13	2	5,0
8	14	2,4	4,8
9	12	2,5	6,0
10	15	2,5	4,6

Fonte: (O autor, 2018).

Onde temos L como a largura da bancada, Hb a altura da boca de lobo e α o ângulo da boca de lobo.

Como o tempo é uma grandeza muito importante para encontramos a velocidade angular, e com os dados obtidos em campo, foi possível verificar que uma bancada ultra-alta leva em média 7s para realizar todo o processo de tombamento. Este processo é dividido em duas partes devido a mudança do eixo de rotação. Mas, como o nosso interesse é dado apenas na primeira parte, como vemos na figura 36, temos um tempo menor para realizar este movimento, essa primeira etapa leva um tempo aproximado de 3s.

Figura 35 - Movimento de interesse da bancada, pois a partir dele é possível verificar se a inércia da bancada será vencida.



Fonte: (O autor, 2018).

Só após encontrarmos o tempo e o ângulo de cada bancada estudada, podemos utilizar a equação 13 para encontrar o valor da velocidade angular. Logo após, vamos também encontrar qual o menor ângulo para o tombamento da mesma, sendo possível aumentar a recuperação do mesmo com uma boca de lobo de menor tamanho.

$$\alpha = w \times t \quad (13)$$

Onde:

α = ângulo da boca de lobo em rad;

w = velocidade angular em rad/s;

t = tempo em s.

Na tabela 12, apresentamos os valores das velocidades angulares para cada bancada com seu tempo fixado em 3s. Como o tempo será inversamente proporcional a velocidade angular, quanto maior for o tempo para realização da primeira parte do tombamento, menor será a velocidade angular, chegando ao ponto onde esta velocidade não será suficiente para vencer a inércia da bancada ultra-alta.

Tabela 12 - Valores da velocidade angular obtido para cada bancada.

Bancada	α (rad)	W (rad/s)
1	6	2,00
2	7	2,33
3	11	3,67
4	10,6	3,53
5	5	1,67
6	4,6	1,53
7	5	1,67
8	4,8	1,60
9	6	2,00
10	4,6	1,53

Fonte: (O autor, 2018).

Onde α é o ângulo da boca de lobo e W é a velocidade angular.

Após utilizarmos as equações para calcular a inércia e a velocidade angular, é possível calcularmos o valor da energia rotacional pela equação 14, a seguir. Sendo o valor da energia rotacional maior que a inércia do material, é possível garantir que a bancada irá tombar, possibilitando uma padronização da metodologia.

$$K = \frac{1}{2} \times I \times w^2 \quad (14)$$

Onde:

K = Energia cinética rotacional em Kg x m²/s²;

w = velocidade angular em rad/s;

I = Inércia em Kg x m².

Na tabela 13, a seguir, são apresentados os valores da energia cinética rotacional e inércia. Nela, é possível verificar que a boca de lobo empírica foi suficiente para promover o tombamento da bancada ultra-alta. Sendo possível simular a boca de lobo com uma altura menor e um tempo maior, possibilitando encontrar o ângulo crítico no qual esta altura não será suficiente para vencer a inércia da bancada.

Tabela 13 - Demonstra que o valor da energia rotacional, foi superior ao valor da inércia da bancada.

Bancada	I (Kg x m ²)	W (rad/s)	K (Kg x m ² /s ²)
1	193.869.676,80	2,00	387.739.353,60
2	50.625.000,00	2,33	137.812.500,00
3	7.525.204,56	3,67	50.586.097,32
4	2.562.370,20	3,53	15.994.884,20
5	126.005.317,20	1,67	175.007.385,00
6	422.825.832,00	1,53	497.055.255,84
7	149.506.308,90	1,67	207.647.651,25
8	287.362.252,80	1,60	367.823.683,58
9	196.938.864,00	2,00	393.877.728,00
10	605.495.736,00	1,53	711.793.876,32

Fonte: (O autor, 2018).

Onde o I é a inércia rotacional, o W é a velocidade angular e o K é a energia cinética rotacional.

Com o auxílio de aplicativo de planilhas, vamos simular diversas situações desde as mais desfavoráveis até o melhor cenário para utilização da técnica da boca de lobo. Neste primeiro momento, vamos fazer a simulação com os tempos fixos em 4s e 5s. Nesta simulação, vamos verificar se a energia cinética rotacional será suficiente para promover a desestabilização da bancada, conforme podemos observar na tabela 14.

Tabela 14 - Simulação com mudança do tempo para avaliar a mudança da energia cinética rotacional, comparando com a inércia da banca.

Bancada	I (Kg x m ²)	W (rad/s) (4s)	K (Kg x m ² /s ²) (4s)	W (rad/s) (5s)	K (Kg x m ² /s ²) (5s)
1	193.869.676,80	1,50	218.103.386,40	1,20	139.586.167,30
2	50.625.000,00	1,75	77.519.531,25	1,40	49.612.500,00
3	7.525.204,56	2,75	28.454.679,74	2,20	18.210.995,04
4	2.562.370,20	2,65	8.997.122,36	2,12	5.758.158,31
5	126.005.317,20	1,25	98.441.654,06	1,00	63.002.658,60
6	422.825.832,00	1,15	279.593.581,41	0,92	178.939.892,10
7	149.506.308,90	1,25	116.801.803,83	1,00	74.753.154,45
8	287.362.252,80	1,20	206.900.822,02	0,96	132.416.526,09
9	196.938.864,00	1,50	221.556.222,00	1,20	141.795.982,08
10	605.495.736,00	1,15	400.384.055,43	0,92	256.245.795,48

Fonte: (O autor, 2018).

Onde I é a inércia rotacional, W é a velocidade angular e K é a energia cinética rotacional.

Foi possível verificar que, se o tempo para a bancada ultra-alta realizar o primeiro movimento for maior que 4s, a energia cinética rotacional será insuficiente para promover a sua desestabilização, sendo necessário realizar outras manobras, tais como amarrar um cabo de aço e puxar a bancada (moitão) ou tentar utilizar um macaco hidráulico para empurrar, fazendo com que o mesmo complete o seu tombamento.

Voltando o tempo para 3s, nesta fase da simulação, vamos trabalhar alterando os ângulos diminuindo-os 1 em 1 grau, para cada bancada em questão, como pode ser observado na tabela 15, verificando o que vai acontecer com a energia cinética rotacional até que o ângulo da mesma seja suficiente para promover a desestabilização da bancada.

Tabela 15 - Redução dos ângulos da "boca de lobo", onde altera a velocidade angular e consequentemente a energia rotacional.

Bancada	I (Kg x m ²)	β (rad)	α (rad)	W (rad/s)	K (kg x m ² /s ²)
1	193.869.676,80	5	6,0	1,67	269.263.440,00
2	50.625.000,00	6	7,0	2,00	101.250.000,00
3	7.525.204,56	10	11,0	3,33	41.806.692,00
4	2.562.370,20	9,6	10,6	3,20	13.119.335,42
5	126.005.317,20	4	5,0	1,33	112.004.726,40
6	422.825.832,00	3,6	4,6	1,20	304.434.599,04
7	149.506.308,90	4	5,0	1,33	132.894.496,80
8	287.362.252,80	3,8	4,8	1,27	230.528.385,02
9	196.938.864,00	5	6,0	1,67	273.526.200,00
10	605.495.736,00	3,6	4,6	1,20	435.956.929,92

Fonte: (O autor, 2018).

Onde I é a inercia rotacional, β é o novo ângulo de teste, α é o ângulo inicial da boca de lobo, W é a velocidade angular e K é a energia cinética rotacional.

De posse dos valores da primeira interação, que podemos verificar na tabela 13, já se torna possível observar que temos um ângulo crítico para o tombamento da bancada ultra-alta utilizando o método da boca de lobo. Com as novas interações, chegamos a um ângulo crítico padrão para todas as bancadas, como pode ser visto na tabela 16, onde podemos observar que os valores da inercia e da cinética rotacional ficam muito próximos.

Tabela 16 - Obtenção do ângulo crítico que garante a queda da bancada ultra alta.

Bancada	I (Kg x m ²)	μ (rad)	W (rad/s)	K (kg x m ² /s ²)
1	193.869.676,80	4,3	1,43	199.147.240,22
2	50.625.000,00	4,3	1,43	52.003.125,00
3	7.525.204,56	4,3	1,43	7.730.057,35
4	2.562.370,20	4,3	1,43	2.632.123,61
5	126.005.317,20	4,3	1,43	129.435.461,95
6	422.825.832,00	4,3	1,43	434.336.090,76
7	149.506.308,90	4,3	1,43	153.576.202,86
8	287.362.252,80	4,3	1,43	295.184.891,90
9	196.938.864,00	4,3	1,43	202.299.977,52
10	605.495.736,00	4,3	1,43	621.978.675,48

Fonte: (O autor, 2018).

Onde I é a inércia rotacional, μ é o ângulo crítico, W é a velocidade angular e K é a energia cinética rotacional.

Com os diversos valores das interações, foi obtido um valor de 4,3° como ângulo crítico, pois se este for inferior ao valor encontrado, a velocidade angular será muito pequena e, como consequência, a energia cinética rotacional será insuficiente para que ocorra o tombamento da bancada ultra-alta. Sendo assim possível garantir a padronização do método da boca de lobo, e por consequência uma melhor eficiência do processo.

Prevendo um cenário mais desfavorável, vamos considerar que o tempo para a execução do primeiro movimento do tombamento da bancada ultra alta chegue aos 4s, foram realizadas simulações onde tivemos de alterar o ângulo crítico, até que o valor da energia potencial rotacional fosse maior que o valor da energia cinética rotacional, com estas novas simulações foi possível chegar a um novo valor do ângulo crítico que será de 6°, quando o movimento acontecer de forma muito lenta, garantindo que mesmo com um tempo elevado a bancada ultra-alta venha a completar o movimento para o seu tombamento, como será observado na tabela 17.

Tabela 17 - Após fixar o tempo em 4s, o novo ângulo crítico fica com o valor de 6° e verificamos que a energia rotacional é superior á inercia, garantindo o tombamento da bancada.

Bancada	I (Kg x m ²)	W (rad/s)	K (Kg x m ² /s ²)
1	193.869.676,80	1,50	218.103.386,40
2	50.625.000,00	1,50	56.953.125,00
3	7.525.204,56	1,50	8.465.855,13
4	2.562.370,20	1,50	2.882.666,48
5	126.005.317,20	1,50	141.755.981,85
6	422.825.832,00	1,50	475.679.061,00
7	149.506.308,90	1,50	168.194.597,51
8	287.362.252,80	1,50	323.282.534,40
9	196.938.864,00	1,50	221.556.222,00
10	605.495.736,00	1,50	681.182.703,00

Fonte: (O autor, 2018).

Onde: I é a inercia rotacional, W é a velocidade angular e K é a energia cinética rotacional.

Após se executar a simulação e adotando o ângulo de 6° como crítico, podemos criar uma nova equação (15) para o cálculo da boca de lobo, levando em conta este ângulo crítico e a largura da bancada, obtendo uma menor altura da boca de lobo, possibilitando uma redução no consumo de fio diamantado e aumentando a recuperação da bancada.

$$h = L \times \text{Tg } 6^\circ \quad (15)$$

Onde:

h = Altura da boca de lobo teórica em metros;

L = largura do painel em metros.

$\text{Tg } 6^\circ = 0,105$.

Para melhor observamos a diferença da altura da boca de lobo empírica, montamos a tabela 18, onde é possível observar que após aplicarmos a equação 15, que foi elaborada ao longo deste trabalho, temos uma menor altura da boca de lobo, levando a crer em uma melhora do aproveitamento da bancada em questão.

Tabela 18 - Comparação entre a altura empírica da "boca de lobo" e a nova altura teórica.

Bancada	C (m)	L (m)	H (m)	Hb (m)	α (rad)	h (m)
1	38,00	12,00	54,00	4,00	6,00	1,26
2	15,00	10,00	50,00	3,00	6,00	1,05
3	23,60	6,00	27,00	2,20	6,00	0,63
4	13,00	6,00	23,00	2,00	6,00	0,63
5	21,00	12,00	57,00	2,00	6,00	1,26
6	22,00	15,00	78,00	2,50	6,00	1,58
7	23,00	13,00	57,00	2,00	6,00	1,37
8	29,00	14,00	64,00	2,40	6,00	1,47
9	15,00	12,00	74,00	2,50	6,00	1,26
10	18,00	15,00	94,00	2,50	6,00	1,58

Fonte: (O autor, 2018).

Onde C é o comprimento da bancada em metros, L é a largura em metros, H é a altura em metros, H_b é a altura da boca de lobo empírica, α é o ângulo teórica encontrado e h é o ângulo teórico da boca de lobo.

Com este resultado acreditamos ter cumprido o objetivo proposto. Em algumas bancadas, observamos que a diferença de altura entre a boca de lobo real e a nova altura teórica tem a dimensão de 1 bloco comercial. Se tomarmos como exemplo um bloco de 13m^3 e dimensões aproximadas de $2,5 \times 1,8 \times 3,0$ e observarmos a bancada 1 como exemplo, temos um incremento de aproximadamente 12 blocos na produção. Considerando uma recuperação de 30%, vamos ter 3 blocos vendáveis a mais que nos dá 39m^3 . Tomando uma média dos valores da pauta de preços (SEFAZ/ES, 2013), já que a mesma não é atualizada desde o ano em questão, obtemos um valor de aproximadamente R\$ 894,62 (Oitocentos e noventa e quatro reais e sessenta e dois centavos) por metro cúbico, vamos ter um incremento de R\$ 34.890,18 (Trinta e quatro mil, oitocentos e noventa reais e dezoito centavos) na receita da empresa por cada bancada.

5.4 CONFECÇÃO E CÁLCULO DAS CAMAS DE AMORTECIMENTO

As camas de amortecimento são utilizadas na extração de rocha ornamental há muito tempo, pois a função destas é impedir que a bancada entre em contato direto com o piso, criando trincas e até quebrando-as ou trincando o material que se encontra no piso, prejudicando o avanço do próximo nível.

A confecção das camas de amortecimento é realizada com material terroso (argila) e, até em alguns casos, quando seu volume é muito grande, restos de blocos que seriam jogados no bota fora são misturados com este material terroso, para aumentar o volume da cama. Porém, esta técnica faz com que a cama diminua sua eficiência, já que os restos de blocos de rocha ornamental não se deformam como o material terroso, para absorver o impacto da queda da bancada.

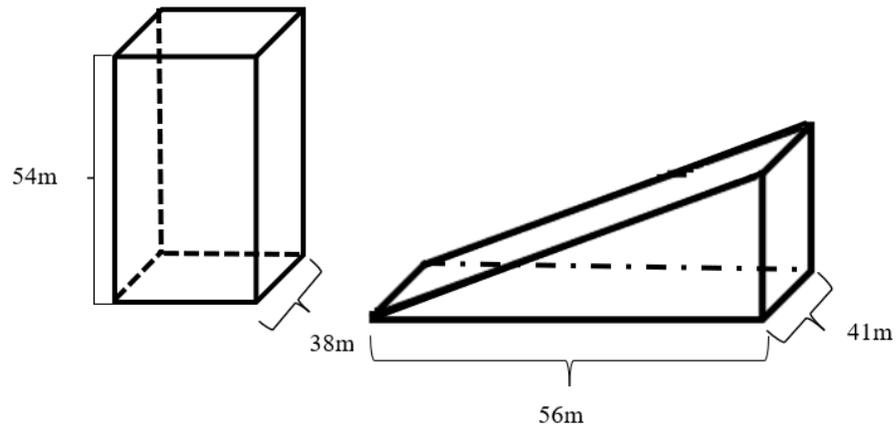
Esta argila que é utilizada para confecção das camas de amortecimento, em sua maioria, é utilizada como recuperação do material de descoberta do maciço rochoso, garantindo o avanço da frente de extração. Entretanto, em alguns casos, este material não é suficiente para a confecção das camas, fazendo com que o empreendedor necessite de uma área de empréstimo.

A utilização desta área faz com que se tenha um aumento no seu custo de operação, pois aumenta a despesa com a escavação e transporte deste material para frente de lavra, onde será confeccionada a cama de amortecimento. Além destes custos diretos, ainda temos o impacto ambiental gerado pela utilização desta área de empréstimo. Para podermos utilizá-las, é necessário o licenciamento ambiental e, posteriormente, a recuperação da área que foi degradada, gerando novos custos ao empreendimento.

O modelo de cama utilizado hoje nas pedreiras de rochas ornamentais tem seu cálculo realizado de forma empírica, onde o volume da cama será o mesmo que o volume da bancada na qual se pretende tombar. Contudo, apesar de sabermos o volume de material que será utilizado, ainda temos de determinar suas dimensões. A proporção da cama de amortecimento é uma variável do tamanho da bancada que se pretende tombar, como por exemplo: uma bancada com altura de 54m, para a confecção de sua cama de amortecimento, deve-se ser acrescido 2m em seu comprimento, ficando assim com 56m, pois assim garantimos que a mesma, ao cair, se mantenha na cama.

Já a bancada possuindo seu comprimento de 38m, se deve acrescentar 1,5m de cada lado na largura da cama de amortecimento. Assim, a cama terá uma largura de 41m, garantindo que ao tombar o material rochoso, o mesmo se mantenha na cama, como mostra a figura 37.

Figura 36 - Dimensões da bancada ultra-alta e sua cama de amortecimento.



Fonte: (O autor, 2018).

Para achar a altura da cama e dimensionar o seu volume, se faz uso da equação 16, onde a cama de amortecimento tem a forma de um prisma retangular dividido ao meio em sua diagonal. Para realizar este cálculo, utilizaremos os valores que já possuímos das bancadas (que são as mesmas 10 trabalhadas ao longo de toda esta pesquisa).

$$V = \frac{C \times L \times Hc}{2} \quad (16)$$

Onde:

C = Comprimento da cama em metros;

L = Largura da cama em metros;

Hc= Altura da cama em metros.

Como nosso interesse é na altura da cama, nossa equação 16 se modifica para uma equação 17 a seguir. Como sabemos quais os valores para o comprimento e largura da cama, podemos aplicar esta equação e verificar qual a altura empírica da mesma, na tabela 19.

$$Hc = \frac{2 \times V}{C \times L} \quad (17)$$

Onde:

C = Comprimento da cama em metros;

L = Largura da cama em metros;

Hc= Altura da cama em metros.

V = Volume da Cama em m³

Tabela 19 - Demonstração de todos os parâmetros que se deve levar em consideração para o cálculo da altura da cama de forma empírica.

Bancada	C (m)	L (m)	H (m)	V (m ³)	M (Kg)	Cama	C (m)	L (m)
1	38,00	12,00	54,00	24.624,00	66.484,80	1	56,00	41,00
2	15,00	10,00	50,00	7.500,00	20.250,00	2	52,00	18,00
3	23,60	6,00	27,00	3823,20	10.322,64	3	29,00	26,60
4	13,00	6,00	23,00	1.794,00	4.843,80	4	25,00	16,00
5	21,00	12,00	57,00	14.364,00	38.782,80	5	59,00	24,00
6	22,00	15,00	78,00	25.740,00	69.498,00	6	80,00	25,00
7	23,00	13,00	57,00	17.043,00	46.016,10	7	59,00	26,00
8	29,00	14,00	64,00	25.984,00	70.156,80	8	66,00	32,00
9	15,00	12,00	74,00	13.320,00	35.964,00	9	76,00	18,00
10	18,00	15,00	94,00	25.380,00	68.526,00	10	96,00	21,00

Fonte: (O autor, 2018).

5.5 DIMENSIONAMENTO DE CAMA DE AMORTECIMENTO TEÓRICO

Neste ponto, vamos precisar do conhecimento das leis de Newton para nos ajudar a dimensionar uma cama de amortecimento. A 1ª Lei de Newton (equação da inércia que já foi enunciada anteriormente como equação 10 na página 53), nos mostra que um corpo em movimento permanece em movimento quando a resultante das forças que atuam sobre ele é zero. Sendo assim, um corpo que está parado tende a continuar parado, a não ser que a resultante de suas forças seja diferente de zero. (Lei da inercia. - Halliday, 2012)

Já na 2ª lei de Newton, vamos ter o comportamento dos corpos quando a resultante de suas forças for diferente de zero. Sendo possível explicar a relação entre as forças, massa e aceleração, como pode ser observado na equação 18. (Halliday, 2012)

$$Fr = M \times a \quad (18)$$

Onde:

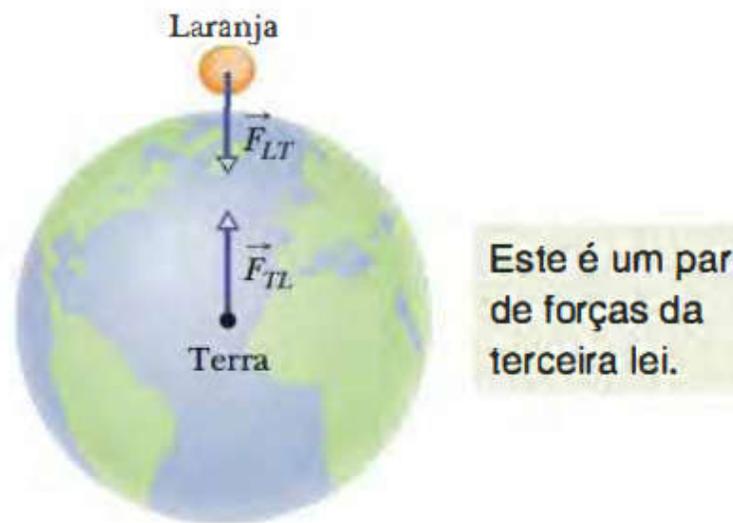
F_r = força resultante N;

M = Massa em Kg;

a = aceleração em m/s^2 .

A 3ª lei de Newton nos diz que, quando um objeto aplica uma força sobre um corpo, recebe a mesma força na mesma intensidade, só que em sentido contrário, como visto na figura 38. Com isso, podemos dizer que a força que será aplicada na cama pela bancada, será a mesma força que a cama tem de realizar sobre a bancada durante o amortecimento. (Halliday, 2012)

Figura 37 - Representação da 3ª lei de Newton que nos mostra que toda ação causa uma reação de igual intensidade, mas com sentido contrário.



Fonte: (Halliday, 2012)

Com os valores da Energia cinética rotacional que se encontra na Tabela 15, é possível encontrar a força que vai atuar na cama através da equação 18, onde vamos considerar a aceleração da gravidade igual a $10 m/s^2$. Podemos observar que a força encontrada para cada painel na tabela 20, tem que ter a mesma força que a cama de amortecimento vai realizar na bancada, em sentido contrário.

Tabela 20 - Valores encontrados para força resultante.

Banca	M (Kg)	Fr (N)
1	66.484,80	664.848,00
2	20.250,00	202.500,00
3	10.322,64	103.226,40
4	4.843,80	48.438,00
5	38.782,80	387.828,00
6	69.498,00	694.980,00
7	46.016,10	460.161,00
8	70.156,80	701.568,00
9	35.964,00	359.640,00
10	68.526,00	685.260,00

Fonte: (O autor, 2018).

Onde as bancadas são as mesmas já utilizadas. A massa será representada por M e a força será representada por Fr .

Nesta etapa, vamos transformar a velocidade angular encontrada na tabela 10 (que se encontra na página 54), em velocidade linear, como será observado na tabela 21. Para isso, vamos utilizar a equação 19. O valor do raio de giro será considerado como a altura do centro de massa da bancada em questão.

Tabela 21 - Valores encontrados da velocidade linear.

Bancada	R (m)	W (rad/s)	V_0 (m/s)
1	27,00	2,00	54,00
2	25,00	2,33	58,33
3	13,50	3,67	49,50
4	11,50	3,53	40,63
5	28,50	1,67	47,50
6	39,00	1,53	59,80
7	28,50	1,67	47,50
8	32,00	1,60	51,20
9	37,00	2,00	74,00
10	47,00	1,53	72,07

Fonte: (O autor, 2018).

Onde temos R como o Raio, W é a velocidade angular e V_0 é a velocidade escalar.

$$V_0 = w \times R \tag{19}$$

Onde:

V_0 = velocidade linear em m/s;

W = velocidade angular em rad/s; e

R = raio de giro em m.

Neste passo, vamos calcular a desaceleração que a cama tem que promover na bancada para que a mesma tenha sua velocidade final igual à zero. Como já temos o valor da velocidade inicial, vamos utilizar a equação 20 em módulo e obter o valor da desaceleração, na tabela 22 a seguir.

$$a = \frac{V_0}{t} \quad (20)$$

Onde:

a = desaceleração em m/s^2 ;

V_0 = Velocidade Inicial em m/s; e

t = tempo em s.

O tempo para efeito de cálculo será considerado 2s, já que todo o processo de tombamento da bancada leva em média 7s.

Tabela 22 - Valores da desaceleração da bancada quando se encontram com a cama de amortecimento.

Cama	V_0 (m/s)	a (m/s^2)
1	54,00	27,00
2	58,33	29,17
3	49,50	24,75
4	40,63	20,32
5	47,50	23,75
6	59,80	29,90
7	47,50	23,75
8	51,20	25,60
9	74,00	37,00
10	72,07	36,03

Fonte: (O autor, 2018).

Onde temos V como velocidade linear e a como a desaceleração.

De posse dos dados encontrados, vamos calcular a massa necessária para a cama de amortecimento realizar uma resposta com mesma intensidade, só que em sentido contrário ao valor da força que a bancada faz sobre ela. Para isso, utilizamos a segunda lei de Newton que é descrita pela equação 21. Encontramos na tabela 23 o valor da massa da cama de amortecimento:

$$M = \frac{Fr}{a} \quad (21)$$

Onde:

M = Massa em Kg;

Fr = Força resultante em N; e

a = desaceleração em m/s²

Tabela 23 - Massa da cama necessária para promover a desaceleração da bancada.

Cama	Fr (N)	a (m/s ²)	M (kg)
1	664.848,00	27,00	24.624,00
2	202.500,00	29,17	6.942,86
3	103.226,40	24,75	4.170,76
4	48.438,00	20,32	2.384,15
5	387.828,00	23,75	16.329,60
6	696.980,00	29,90	23.243,48
7	460.161,00	23,75	19.375,20
8	701.568,00	25,60	27.405,00
9	359.640,00	37,00	9.720,00
10	685.260,00	36,03	19.017,39

Fonte: (O autor, 2018).

Onde a Fr é a força resultante, a é a desaceleração e M é a massa da cama.

Após encontrarmos o valor da massa da cama de amortecimento, vamos considerar que a mesma é composta apenas por argila. Então, vamos dividir pela densidade da argila que é de 1,25 Kg/m³ (informado pela empresa onde foram coletadas as informações). Ao realizar esta divisão, se encontra o volume da cama de amortecimento. Como já sabemos o seu comprimento devido a bancada utilizada e a sua largura da mesma forma, pode então fazendo uso da equação 17 na página 63, para encontrar a altura teórica da cama, na tabela 24.

Tabela 24 - Valores utilizados para encontrar a altura da cama de amortecimento h.

Cama	M (kg)	V (m ³)	C (m)	L (m)	h (m)
1	24.624,00	19.699,20	56,00	15,00	17,16
2	6.942,86	5.554,29	60,33	13,00	11,87
3	4.170,76	3.336,61	51,50	9,00	8,65
4	2.384,15	1.907,32	42,63	9,00	9,54
5	16.329,60	13.063,68	49,50	15,00	18,45
6	23.243,48	18.594,78	61,80	18,00	18,59
7	19.375,20	15.500,16	49,50	16,00	20,21
8	27.405,00	21.924,00	53,20	17,00	20,76
9	9.720,00	7.776,00	76,00	15,00	11,37
10	19.017,39	15.213,91	74,07	18,00	15,09

Fonte: (O autor, 2018).

Onde temos M como a massa, V como o volume, C como o comprimento, L como a largura e h é a altura da cama de amortecimento.

5.6 CUSTO PARA CONFECCÃO DA CAMA DE AMORTECIMENTO

Para estimar o custo médio da confecção de uma cama de amortecimento com argila, no qual será utilizado um caminhão basculante de 16 m³ (como vemos na figura 39) e uma escavadeira hidráulica Caterpillar 320B, ou similar, com capacidade de concha de 1 m³ adaptada para rocha ornamental, como vamos observar na figura 40.

Figura 38 - Caminhão basculante com capacidade de 16m³, para confecção de cama de amortecimento.



Fonte: (O autor, 2018).

Figura 39 - Escavadeira hidráulica na extração de argila e confecção da cama de amortecimento.



Fonte: (O autor, 2018).

Além do custo da operação de escavação e transporte já citados anteriormente, ainda tem o custo da escavadeira que será utilizada para formar a cama, com dimensões adequadas ao projeto, para garantir desta forma que o material fique na posição ideal, como observado na figura 41. Garantindo assim, que a bancada ao cair permaneça em cima da cama e não se projete para fora da área programada.

Figura 40 - Escavadeira realizando o trabalho de confecção da cama de amortecimento.



Fonte: (O autor, 2018).

Para estimar o custo de confecção de uma cama de amortecimento, se fazem necessários o cálculo de horas-máquina trabalhadas de escavadeiras ou pá-carregadeira, e caminhões traçados. Como a grande maioria das empresas deste setor de rocha são empresas de pequeno e médio porte, não possuindo seus próprios equipamentos, as mesmas trabalham com equipamentos de aluguel. Diante deste cenário, a tabela 25 mostra uma estimativa dos valores em horas-máquinas, valores estes obtidos com conversas de pessoas do setor de aluguel de equipamentos.

Tabela 25 - Valores de hora máquina para escavadeira e caminhão basculante no ano de 2016.

Equipamento	Valor R\$
Caminhão 16 m ³	115,00
Escavadeira	237,00

Fonte: (O autor, 2018).

Para que possa estimar o custo de confecção de cada cama do zero, sem aproveitamento de cama anterior, realiza-se a verificação do tempo de carregamento médio do caminhão (que é de aproximadamente 2 min). Assim, como a distância percorrida pelo caminhão que é de aproximadamente 1 km, Pode ser observado a seguir, na tabela 26, o tempo total em horas para o carregamento e viagens na confecção da cama de amortecimento.

Tabela 26 - Valores de tempo de carregamento para confecção da cama de amortecimento, de cada bancada que foi derrubada.

Cama	V (m ³)	Viagens	TC (min)	TV (min)
1	19.699,20	1.231,20	41,04	266,76
2	5.554,29	347,14	11,57	75,21
3	3.336,61	208,54	6,95	45,18
4	1.907,32	119,21	3,97	25,83
5	13.063,68	816,48	27,22	176,90
6	18.594,78	1.162,17	38,74	251,80
7	15.500,16	968,76	32,29	209,89
8	21.924,00	1.370,25	45,68	296,89
9	7.776,00	486,00	16,20	105,30
10	15.213,91	950,87	31,70	206,02

Fonte: (O autor, 2018).

Onde V é o volume da cama, TC é o tempo de carregamento do caminhão e TV é o tempo de deslocamento do ponto de carregamento até a frente de extração.

De posse dos tempos de carregamento e transporte, multiplica-se esta informação pelo valor de hora máquina e assim obtém-se os custos aproximado para confecção de uma cama de amortecimento, na tabela 27, e levando em consideração que o valor da escavadeira é multiplicado por 2, pois a mesma escava o material e depois remonta a cama para ter as dimensões desejadas.

Tabela 27 - Valores encontrados para o custo da confecção de uma cama de amortecimento.

Cama	Custo de transporte	Custo de Carregamento	Custo Total
1	31.210,92	19.452,96	50.663,88
2	8.800,07	5.484,86	14.284,93
3	5.286,44	3.294,90	8.581,35
4	3.021,91	1.883,48	4.905,39
5	20.697,77	12.900,38	33.598,15
6	29.461,11	18.362,35	47.823,46
7	24.558,07	15.306,41	39.864,47
8	34.735,84	21.649,95	56.385,79
9	12.329,10	7.678,80	19.998,90
10	24.104,54	15.023,74	39.128,28

Fonte: (O autor, 2018).

O dimensionamento da boca de lobo é de suma importância para realização da derrubada das bancadas, pois se a altura da mesma for maior que o necessário, diminui-se a sua recuperação. Possuindo a mesma uma altura menor, não será possível realizar o seu tombamento, dificultando as etapas posteriores. Já para a cama de amortecimento, seu dimensionamento adequado garante que a bancada, ao tombar, não quebre ou caia fora da mesma, prejudicando as etapas posteriores. Todavia, devido aos altos custos para sua confecção, muitos empresários tendem a economizar diminuindo seu volume, fazendo com que as bancadas, ao tombarem, quebrem em seu plano de maior fraqueza.

6 CONCLUSÕES

Na derrubada das Bancadas ultra-altas, verificamos um desperdício de material pétreo na confecção da boca de lobo, já que a altura destas chega, em alguns casos, a ser muito maior do que necessário para promover a derrubada da mesma. Esta diferença de altura leva à perda de alguns blocos comerciais, sendo esta quantidade uma variável do tamanho da bancada, já que estes blocos serão destruídos devido ao desmonte com o explosivo da boca de lobo. Este trabalho possibilitou a elaboração de uma equação para o dimensionamento da mesma, aumentando a recuperação da bancada ultra-alta.

No que concerne à cama de amortecimento, sua confecção de forma empírica leva, muitas vezes, à quebra da bancada ou até a perda da mesma, pois ela cai fora da cama, ficando em locais de difícil acesso para sua recuperação. Diante do que foi estudado aqui, observamos que as dimensões inadequadas das camas pode ser motivada, muitas vezes, devido ao custo elevado da sua confecção, podendo ultrapassar os R\$30.000,00. Com isso, é possível desenvolver uma nova tecnologia para o amortecimento da bancadas.

Com este estudo, foi possível criar uma metodologia de dimensionamento para cama de amortecimento, levando em consideração seus parâmetros geométricos e físicos, na tentativa de que a mesma não venha a se quebrar, nem tão pouco seja perdido.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, C.R.A. et al. Estudo econômico sobre rochas ornamentais, tecnologias de lavra e beneficiamento. V.3, Fortaleza, IEL/FIEC, agosto -1996.

ALMEIDA, F. F. M. et al. Províncias estruturais brasileiras. Simpósio de Geologia do Nordeste. Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Brasília: ABIROCHAS, 2017. Disponível em <<http://www.abirochas.com.br/Exp-imp-out-2017.pdf>> acessado em 10/01/2018.

ASSOCIAÇÃO NOROESTE DE PRODUTORES DE PEDRA ORNAMENTAIS DO ES. Barra de São Francisco: Anpo, 2014. Disponível em <<http://anpo.com.br/main.asp?link=noticia&id=156>> acessado em 26-07-2018.

CAVAZZANA, E. Modelo teórico de um fio diamantado para corte de mármore e granito. Projeto de graduação. Vitória: UFES, 2005.

CIDADE BRASIL. Brasília, 2018. Disponível em < <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-nova-venecia.html>> acessado em 25/09/2018.

CHIODI, F. C.; Rodrigues, E. P. Guia de aplicação de rochas em revestimentos. Projeto Bula. São Paulo: ABIROCHAS, 2009.

CO. FI. PLAST. Brasil, 2018. Disponível em <<http://www.cofiplast.it/pt>> acessado em 17/01/2018.

CURI, A. Lavra de Minas. São Paulo: Oficina do Texto, 2017.

DUARTE, G. W. Plano de Fogo para Rocha Ornamental. Cachoeiro de Itapemirim, ES, 2013.

EVANS, L. Setor de Mineração espera expansão de 5% em 2017, apesar da crise. Belo Horizonte: EM, 2016. Disponível em <https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2016/08/09/internas_economia,792216/setor-de-mineracao-espera-expansao-de-5-em-2017-apesar-da-crise.shtml> Acessado em 10/01/2018.

GUERREIRO, H. J. P. Exploração Subterrânea de Mármore. Dissertação de Mestrado. Lisboa: ISTL, 2000.

GRUPO VENTOWAG TECNOLOGIA E QUALIDADE. ES: Grupo Ventowag, 2015. Disponível em <<http://www.ventowag.com.br/maquina-a-fio-diamantado.php>> acessado em 17/01/2018.

GOVERNO DO BRASIL. Setor de Mineração atinge superávit de US\$ 11,5 bilhões. Brasília: Governo do Brasil, 2017. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/07/setor-de-mineracao-atinge-superavit-de-us-11-5-bilhoes>> Acessado em 10/01/2018.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física. V1. Edição 9. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos Científicos, 2012.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. "Terceira lei de Newton"; *Brasil Escola*. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/terceira-lei-newton.htm>>. Acesso em 25 de setembro de 2018.

LIMA, T. M. Informe Mineral 2º semestre de 2016. Brasília: MCT, 2017. Disponível em <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/informe-mineral/publicacoes-nacionais/informe-mineral-2016-2o-semester/view>> acessado em 10/01/2018.

MAIOR, R. S. M.; Panorama da Mineração de Rochas Ornamentais no Estado do Espírito Santo com Ênfase na Lavra por Bancadas Ultra Alta. Dissertação de Mestrado, Recife: UFPE, 2013.

MARCON, D. B. Utilização de fio diamantado na lavra de granitos comerciais. Cachoeiro do Itapemirim, ES, 2012.

MARMORARIA PJ. Curitiba, 2016. Disponível em <<http://marmorariapj.blogspot.com.br/2016/02/Sofisticação-e-iluminacao-para-seu.html>> acessado em 17/01/2018.

MENEZES, R.G. Tecnologia de lavra em maciço rochoso. Rio de Janeiro, 2005.

Novaes, R. C.; Maior, G. R. S.; Viabilidade técnica e econômica da implementação do método de lavra de painéis verticais em comparação com o método de bancada regulares de rocha ornamental. João Pessoa: IX Simpósio de Rocha Ornamental do Nordeste, 2016.

ROBERTO, F. A. C. Rochas Ornamentais do Ceará: geologia, lavra, beneficiamento e mercado. Dissertação de Mestrado. Fortaleza: UFC, 1998.

SARDOU, F. R. Atlas de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo. Brasília: CPRM, 2013.

SINDIROCHAS ESPÍRITO SANTO. Serra: SEFAZ/ES, 2013. Disponível em <<http://www.sindirochas.com/arquivos/pauta-de-precos-2014-doe-es-de-20122013.pdf>> acessado em 2018.

SILVA, R.F. BARROS, M. L. S. C. ASSIS, M.S. Padronização da metodologia de ruptura basal em cunha, para tombamento de painéis verticais na lavra de rocha ornamental. São Paulo: TMMM, 2018.

VIDAL, F. W. H.; PINHEIRO, J. R.; CASTRO, N. F.; CARANASSIOS, A. Tecnologia de rochas ornamentais, pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.

WALKER, J. Fundamentos de Física. Rio de Janeiro: LTC. 10 Ed. 2016. p. 270-273.