



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



LÚCIO FLÁVIO COELHO DOS SANTOS

DESMONTE CONTROLADO EM PEDREIRAS

OURO PRETO

2023

LÚCIO FLÁVIO COELHO DOS SANTOS

Desmonte controlado em pedreiras

TCC apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz

OURO PRETO

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S237d Santos, Lúcio Flávio Coelho dos.
Desmonte controlado em pedreiras. [manuscrito] / Lúcio Flávio
Coelho dos Santos. - 2023.
48 f.: il.: color., tab., mapa.

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

1. Mineração a céu aberto. 2. Desmonte de rochas - Variáveis
controláveis. 3. Explosivos. I. Ortiz, Carlos Henrique Arroyo. II.
Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.235

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lúcio Flávio Coelho dos Santos,

Desmonte Controlado em Pedreiras

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

Aprovada em 08 de setembro de 2023

Membros da banca

Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz - Orientador(a) - Universidade Federal de Ouro Preto
Eng. Walter Soares Ferreira - BEMIL
Eng. Francisco Silverino da Silva - Pedreira IM

Carlos Enrique Arroyo Ortiz, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 26/09/2023



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Enrique Arroyo Ortiz, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/09/2023, às 14:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0595120** e o código CRC **F6042D39**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me deu oportunidades, força de vontade e coragem para superar todos os desafios.

A minha família, principalmente aos meus pais, por todo apoio, paciência e compreensão contribuindo diretamente para que eu pudesse ter um caminho mais fácil e prazeroso durante esses anos.

Agradeço aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado em especial a meu orientador. Agradeço também a minha instituição, UFOP e Escola de Minas, por ter me dado a chance e todas as ferramentas que permitiram chegar hoje ao final desse ciclo de maneira satisfatória.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da mina Pedreira Irmãos Machado	27
Figura 2- Controle de Densidade das UMBs.....	30
Figura 3- Imagem dos furos em que foram realizadas as análises de perfilometria e desviometria	31
Figura 4- Sequenciamento dos tempos de detonação em isolinhas.....	33
Figura 5- Apresentação da linha de frente da bancada.....	34
Figura 6- Frente de banco relacionado aos furos de pré-corte	35
Figura 7- Desmonte da primeira linha da banca (furos 50 a 64)	35
Figura 8 - Desmonte da primeira linha da bancada (furos 34 a 50)	36
Figura 9 - Desmonte da primeira linha da bancada (furos 34 a 24)	36
Figura 10 - Furos de trás escapando gases por áreas de menor resistência	37
Figura 11 - Desmonte da primeira linha da bancada (furos 24 a 01)	37
Figura 12 - Ilustração de parte da emulsão contaminada com água no fundo do furo.....	38
Figura 13 - Escavação da zona de fragmentação inadequada mostrando resquícios de emulsão não detonada.....	39
Figura 14 - Válvula de bloqueio da sucção e passagem do produto através do misturador estático.....	40
Figura 15 - Imagem da mudança abrupta na litologia.....	41
Figura 16 - Dique máfico vista frontal	42
Figura 17 - Dique máfico, vista aérea da detonação.....	42
Figura 18 - Dique máfico, vista pós detonação	43
Figura 19 - Conclusões sobre a qualidade da perfuração	44

RESUMO

Este trabalho aborda a aplicação e importância das técnicas de desmonte controlado nas mineradoras de agregados, a relevância de técnicas mais sustentáveis e controladas e os resultados de tais feitos para o meio ambiente e a sua influência em parâmetros econômicos para a empresa, além de apresentar as ferramentas utilizadas pelas equipes do desmonte controlado. Tanto as características, quanto as ferramentas utilizadas variam de acordo com cada técnica de desmonte controlado utilizado, desta forma será apresentada algumas das técnicas, suas características, resultados, e a aplicação desses procedimentos em uma pedreira localizada em Amarantina, Minas Gerais, em uma análise de um desmonte controlado.

Palavras-chave: Desmonte controlado; mineração a céu aberto; desmonte de rochas; explosivos; variáveis controláveis.

ABSTRACT

This work addresses the application of the importance of controlled blasting techniques in open pit mining, the relevance of more sustainable and controlled techniques and the results of such achievements for the environment and their influence on economic parameters for the company, in addition to presenting the tools used by the controlled dismantling teams. Both the characteristics and the tools used vary according to each controlled blasting technique used, in this way some of the techniques, their characteristics, results, and the application of these procedures in a quarry located in Amarantina, Minas Gerais, will be presented in an analysis of a controlled dismantling.

Keywords: Controlled blasting; open pit mining; rock blasting; explosives; controllable variables.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Justificativa	10
1.2 Objetivos gerais e específicos.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Mineração no Brasil	11
2.2 Extração pétrea.....	13
2.3 Classificação do maciço.....	13
2.4 Desmonte de rocha a com uso de explosivo.....	14
2.4.1 Desmonte de rocha a frio	14
2.4.2 Desmonte de rocha a fogo.....	14
2.4.3 Ensaios de caracterização da rocha	14
2.4.4 Emulsão e reforçador (Booster).....	15
2.4.5 Equipamentos	15
2.5 Impactos ambientais gerados pelos desmontes de rochas.....	16
2.5.1 Impactos ambientais, consequências e normas.....	16
2.5.2 Ações mitigadoras possíveis.....	18
2.5.3 Alteração da qualidade do ar	18
2.5.4 Alteração do nível da pressão sonora	19
2.5.5 Alteração da superfície do solo	19
2.5.6 Alteração do sistema de água.....	19
2.5.7 Flora e fauna	20
2.5.8 Área de Preservação Permanente-APP; Reserva Legal; Unidades de Conservação; Área de Preservação Ambiental-APA.....	20
2.5.9 Relacionamento com a comunidade	21
2.5.10 Risco de acidente de trânsito.....	21
2.5.11 Acidentes ocupacionais	22
2.6 Beneficiamento.....	23
3 METODOLOGIA.....	25
4 ESTUDO DE CASO	27
4.1 Contextualização.....	27
4.2 Análise das qualidades dos explosivos e acessórios utilizados.....	27
4.3 Análise do carregamento	28
4.4 Carregamento do Desmonte de Produção (Desmonte_PIM_P36)	28

4.5	Perfuração do Desmonte_PIM_P36.....	28
4.6	Parâmetros Geométricos do Desmonte_PIM_P36	29
4.7	Carregamento Pré-Corte do Desmonte_PIM_P36.....	29
	Produtos utilizado:	29
4.8	Análise de Perfilometria & Desviometria 3D, Desmonte de Produção	31
4.9	Análise do Sequenciamento dos tempos	32
4.10	Avaliação pós-detonação	34
4.10.1	<i>Análise de vídeos da detonação</i>	<i>34</i>
4.11	Produto encontrado na bancada após desmonte	38
4.12	Estudo das prováveis causas.....	38
4.12.1	<i>Durante a aplicação do produto no campo.....</i>	<i>38</i>
4.12.2	<i>Produto emulsão fábrica e transparência na UMB</i>	<i>39</i>
4.13	Litologia da área especificada	40
4.14	Qualidade de perfuração.....	43
4.15	Conclusões e Plano de Ação	44
	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

Antes do surgimento da escrita, 3.000 a.C a humanidade já utilizava os recursos naturais encontrados na natureza para, como por exemplo na Idade da Pedra Lascada, os hominídeos à 10000 a.C, na idade da Pedra Polida, 8000 a.C e na Idade dos Metais em 3300 a.C, períodos os quais foram desenvolvidas as primeiras ferramentas como facas, arpões, arcos, lanças, machados e flechas, com a finalidade de caça, pesca, construções de abrigos e para coletar frutas.

Contudo é válido lembrar que além dessas ferramentas não serem muito sofisticadas e sim mais rústicas, também eram materiais de fácil extração pois eram mais abundantes e fáceis de encontrar na natureza.

Conforme a humanidade foi se desenvolvendo, foi ocorrendo o crescimento populacional, a sociedade foi evoluindo e com isso ocorreu o crescimento demasiado da utilização dos recursos naturais, ao passar dos anos essa necessidade foi aumentando o consumo de matérias primas e forçou o desenvolvimento das técnicas de obtenção de tais recursos, como por exemplo o dinamite, criado em 1867 por Albert Nobel. Esse pode ser considerado o primeiro grande marco divisório na história dos desmontes de rocha.

As minerações, antigamente, eram localizadas distantes das metrópoles e cidades, das concentrações urbanas em geral, porém ao passar do tempo, houve a necessidade de ocupar novos espaços, desta forma as mineradoras foram ficando mais próximas dos centros urbanos. Com o crescimento dos centros urbanos em volta das mineradoras, surgiram algumas problemáticas, como podemos exemplificar: a necessidade de um controle ambiental, a propagação de vibrações do terreno indesejadas pelos moradores, dispersão de material particulado como poeiras e fragmentos de pedras, a sobreposição atmosférica. Todas essas questões passaram a ser dificuldades para as mineradoras superarem.

Para superar essas problemáticas, atuar na preservação do meio ambiente, reduzir a poluição ambiental, e ao mesmo tempo obter maior lucro para as empresas, foi necessário o desenvolvimento dos mecanismos que atuam no setor do desmonte de rochas, ocorre então a criação, e avanço de novas técnicas, além do aperfeiçoamento do desmonte tradicional com o uso de explosivos de forma controlada e consciente, com o objetivo de se adequar à competitividade do mercado da mineração.

1.1 Justificativa

Ocorre a preocupação em relação à segurança operacional em relação ao desmonte nas pedreiras, visto que o risco aumenta de acordo com o aumento da profundidade da escavação, colocando em risco não só os trabalhadores, como também a comunidade ao redor das mineradoras.

Para que haja mais segurança é necessária a inserção de novos planejamentos de desmonte modificados, como por exemplo os desmontes controlados.

1.2 Objetivos gerais e específicos

O presente trabalho tem como objetivo geral transmitir ao leitor o conhecimento da complexidade que as práticas do desmonte controlado podem obter, os quais são precedidos com o beneficiamento para obtenção de agregados para construções civis. Incluindo as informações sobre os procedimentos do desmonte das rochas a céu aberto utilizando explosivos com as tecnologias necessárias para obtenção de maior segurança, benefícios do meio ambiente, e melhoria econômica.

Como objetivos específicos temos a revisão bibliográfica em relação a extração de recursos minerais e desmonte de minas rochosas no Brasil com novas tecnologias e com o aprimoramento das técnicas tradicionais como o uso de explosivos de forma segura e consciente; apresentar as principais normas que regulamentam a extração de minerais; Fazer o demonstrativo dos benefícios da utilização de tais recursos; E apresentar um estudo de caso demonstrando a realidade e problemáticas do desmonte de rochas com explosivos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mineração no Brasil

Uma das primeiras atividades econômicas que foi desenvolvida no país desde a sua descoberta foi a mineração. Uma carta escrita pelo descobridor Pero Vaz de Caminha afirmava para a Coroa Portuguesa que o local teria um grande potencial para a atividade de exploração de minérios.

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

De acordo com Costa (2009), a colonização em seu início, eram exploradas as ocorrências das diversas substâncias minerais que eram encontradas mais na superfície do solo. Devido aos métodos rudimentares adotados para sua extração, as massas retiradas eram menores. Por outro lado, as necessidades de produtos de origem mineral eram pequenas, visto que o andamento da indústria estava em seus primórdios e ainda estavam se iniciando a implantação de novas tecnologias na transição com a manufatura. Os produtos que tinham mais demanda eram os cascalhos, as argilas e a areia, devido a estarem ligados de forma direta às construções e crescimento das cidades.

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

Em São Paulo, ocorreram os primeiros, no Vale da Ribeira, logo após os bandeirantes paulistas se deslocaram para Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso com o pensamento de colonizar o interior do país. Inicialmente, a extração do ouro e diamantes eram realizadas manualmente com pás, peneiras, eram lançados em calhas e posteriormente bateados.

Os veios que penetravam nas encostas eram explorados por meio de galerias perfuradas com ponteiros e malhos e, quando necessário, eram detonados com pólvora caseira. O minério era, em seguida, carregado por pás em carrinhos de mão. Os poços verticais ou inclinados, necessários para acompanhar os veios, eram perfurados da mesma forma, e o minério era içado por meio de baldes de madeira e sarilhos manuais.

O transporte mais longo era feito em carroções por tração animal. As aberturas eram sempre de seções acanhadas, pouco iluminadas, dificultando o trabalho e causando danos à saúde dos operários (a maioria escravos) que nelas trabalhavam. A falta de conhecimento geológico dificultava sobremaneira o trabalho (GERMANY, 2002).

No século XVIII, na extração de ouro, foi quando ocorreu o aperfeiçoamento das primeiras lavras.

A princípio com a abertura da Mina da Passagem, em Mariana, em 1819, pelo Barão de Echewege, e em seguida por várias outras. A principal delas foi a Mina Velha da Saint John Del Rey Mining Co., em Nova Lima, em 1834, Minas Gerais. Essas duas minas citadas eram consideradas na época como exemplos no emprego de tecnologia e serviam de referência mundial, no que dizia respeito a lavras subterrâneas. (STEFANI, 2019).

De acordo com Germany (2002), essas minas foram implantadas com a técnica disponível na época, que foram trazidas da Europa, mais especificamente alemães e ingleses, pelos engenheiros, seus capitães de mina e mineradores. Nesta época o Brasil foi considerado o primeiro grande produtor mundial de ouro (BARRETO, 2001). O ciclo do ouro teve fim no final do século XVIII, quando os minérios da superfície se esgotaram.

Em 1950, foi implantada uma nova técnica na mina de manganês localizada no Amapá, iniciando uma nova fase de modernização, com técnicos brasileiros e americanos, introduzindo técnicas de perfuração e desmonte, uso de escavadeiras elétricas e caminhões fora de estrada (GERMANY, 2002).

Em 1942 foi criada a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), sendo considerada pioneira nas décadas de 1960 e seguintes, introduzindo novas técnicas de perfuração, escavadeiras e caminhões fora de estrada com capacidades cada vez maiores. Também investiu na aplicação de planejamento informatizado, controle de qualidade na lavra, com aplicação de geoestatística, mecânica de rochas aplicadas à estabilidade de taludes, deposição controlada de rejeitos, rebaixamento de lençol freático em minas, transporte de minério e estéril por correias em ambos os sentidos e aproveitamento de minérios de baixo teor (GERMANY, 2002).

O Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2012), o Brasil é um dos países com mais potencial de minérios e tem privilégios por sua abundância de reserva mineral, em relação ao mundo, pois tem uma diversidade de minerais metálicos e não-metálicos. Dados do IBRAM revelam que o Brasil em suas reservas minerais, obtendo 98% de nióbio, 50% de tantalita, líder mundial em ambos.

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

2.2 Extração pétrea

A exploração de rochas é uma atividade de mineração que se destaca, é essencial para o desenvolvimento da engenharia e construção civil no mundo.

Segundo Pontes (2016), o desmonte de rocha se configura como um dos principais pilares da cadeia produtiva no ramo da extração mineral, diretamente influenciando nas etapas de carregamento, transporte e beneficiamento.

Gama (2003) define o desmonte de rocha como um conjunto de processos utilizados para proceder a fragmentação de determinado volume de rocha do maciço rochoso.

Esses processos podem ser subdivididos em desmonte de rochas a frio e a quente. A escolha do processo mais adequado se dá pelas propriedades físicas e químicas do maciço e também pelo meio em que a jazida está localizada, podendo ser em zonas rurais ou urbanas. Essas peculiaridades serão abordadas mais adiante (STEFANI, 2019).

2.3 Classificação do maciço

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) classifica e apresenta os maciços rochosos, em três categorias de material e diferentes tipos de escavação, na Norma 106/2009:

- Material de primeira categoria: material composto de solo, alteração de rocha, aluviões e coluviões, materiais heterogêneos com blocos de até 1 m³ e pode ser removido diretamente por equipamentos de escavação de porte variável;
- Material de segunda categoria: material composto de rochas mais ou menos rígidas, estratificadas, de diferentes graus de alteração, que devem ser desmontadas e desagregadas por equipamentos de diversos portes (tratores com escarificadores, rompedores, etc.) ou mesmo com emprego descontínuo de explosivos de baixa potência para posterior carregamento e remoção;
- Material de terceira categoria: material composto de rocha sã ou pouco alterada que não pode ser escavado pelos os dois métodos anteriores, necessitando o uso de explosivos.

Pode-se notar com essa classificação que o método de escavação se relaciona diretamente com a resistência da rocha e/ou ao custo benefício do método adotado (STEFANI, 2019).

2.4 Desmonte de rocha a com uso de explosivo

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

2.4.1 Desmonte de rocha a frio

A escavação de rocha por desagregação, ou desmonte de rocha a frio, ocorre de formas diferentes e com outros tipos de tecnologias e equipamentos. De acordo com Ferreira (2013), o mais utilizado atualmente é a argamassa expansiva.

São realizadas perfurações na rocha e feito um preenchimento com argamassa expansiva. A argamassa se expande progressivamente, gerando tensões na rocha e causando a sua desagregação (FERREIRA, 2013).

O tempo do processo é de 24 horas e é muito utilizado quando a detonação por explosivos não é permitida, normalmente em áreas urbanas onde se é evitado ruído, produção de poeira e apresentar riscos.

2.4.2 Desmonte de rocha a fogo

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

2.4.3 Ensaios de caracterização da rocha

É de suma importância os ensaios de caracterização da rocha no período de estudo e pesquisa da pedreira que se quer explorar, visto que ela permite avaliar com precisão a viabilidade de uma possível exploração.

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

Todas as amostras recuperadas, incluindo-se os fragmentos, deverão ser cuidadosamente manipuladas para evitar qualquer dano às mesmas. Após a remoção das amostras, estas deverão ser colocadas em uma caixa de madeira apropriada, disposta de forma que a sequência exata de amostragem, no subsolo, seja conservada na caixa. À medida que as amostras, de cada etapa e de cada furo, vão sendo colocadas na caixa, um separador de madeira deverá ser interposto entre cada etapa, inclusive quando não forem conseguidas amostras nos tacos de madeira, colocados nesses limites, deverão ser anotadas as profundidades correspondentes, além da indicação clara de qual era a extremidade superior de cada amostra. As caixas deverão ter compartimentos longitudinais de madeira no seu interior, sendo a largura dos compartimentos igual ao diâmetro dos testemunhos, com tampa, proporcionando, desta forma, ajustes e imobilidade daqueles durante a operação de manuseio e transporte da caixa (DAER-RS, 1994).

Desta forma ocorre a realização dos ensaios com a finalidade de caracterizar e verificar a qualidade da rocha a ser explorada, sendo eles: abrasão Los Angeles; lâmina petrográfica; adesividade a ligantes betuminosos; densidade real, sanidade ("soundness test") e absorção d'água.

2.4.4 Emulsão e reforçador (Booster)

A emulsão é um agente explosivo impermeável, apresentando classe 1 na tabela de impermeabilidade, suportando mais de 72 horas sem perder sua composição e eficiência. Com uma densidade aproximada de $1,15\text{g/cm}^3$, favorecendo o carregamento de furos com presença de água pluvial ou advinda de lenções freáticos, pois sua densidade ser maior que a densidade da água em 1cm^3 (DE FREITAS, 2020).

Os reforçadores apresentam classe 1 na tabela de impermeabilidade, e oferecem máximo de desempenho nas operações de iniciação de explosivos graças a otimização obtida das combinações da massa explosiva, forma geométrica e formulação dos explosivos, obtendo do explosivo um maior rendimento de sua termodinâmica, fazendo alcançar a velocidade de detonação (VoD), mais próxima do ponto de iniciação, resultando em uma maior pressão de detonação (MENDES, 2015).

2.4.5 Equipamentos

De acordo com Stefani (2019), os principais equipamentos necessários à execução do desmonte de rocha não envolvem necessariamente apenas o processo de carregamento dos furos

e detonação dos explosivos, mas começa muito antes com a limpeza do local e locação dos furos, e se estende até a etapa de uso e beneficiamento.

Para o processo de limpeza utiliza-se escavadeiras hidráulicas, e algumas vezes, essa limpeza é realizada de forma manual, retirando fragmentos de rocha que podem dificultar as etapas seguintes do plano de fogo. Após a limpeza, é feita a locação dos furos e suas profundidades com uma equipe de topografia, utilizando equipamentos como estação total, réguas e cordas (STEFANI, 2019).

Realizada a locação dos furos, chega o momento da perfuração do maciço para a inserção dos explosivos. Essa etapa requer a utilização de uma perfuratriz cujas dimensões de haste e bits são compatíveis com o diâmetro e profundidade dos furos, especificado no plano de fogo (STEFANI, 2019).

O carregamento dos furos com material explosivo é feito quase de forma manual, e o material explosivo é transportado por um caminhão tanque específico, não necessitando de equipamentos adicionais além das ferramentas manuais (STEFANI, 2019).

Após a explosão, é necessário a utilização de escavadeiras hidráulicas e caminhões basculantes para o carregamento do material detonado. As escavadeiras devem ter uma concha com dimensões compatíveis às dimensões dos fragmentos de rocha resultantes da detonação.

Quando a detonação resulta em fragmentos de rocha com dimensões maiores que o previsto, é necessário utilizar um equipamento para quebrá-los em fragmentos menores. Atualmente, dois equipamentos muito utilizados são: o martelo rompedor ou uma bola de aço (STEFANI, 2019).

2.5 Impactos ambientais gerados pelos desmontes de rochas

Considera-se impacto ambiental qualquer alteração das características do sistema ambiental, seja ela física, química, biológica, social ou econômica, em decorrência das ações do empreendimento e, consequentemente alterando os parâmetros no meio físico, biótico e ou socioeconômico na sua área de atuação.

2.5.1 Impactos ambientais, consequências e normas

A detonação das rochas por explosivos gera pressões instantâneas, que atingem níveis entre 1 a 12 GPa, variando de acordo com o tipo de explosivo usado. A energia gerada pelos explosivos se divide em três partes: uma atuará na quebra e lançamento da rocha; outra se

propagará em formas de ondas de choque instáveis de alta velocidade pelo maciço rochoso, causando vibrações ondulatórias até sua dissipação; a terceira parte da energia provocada pela detonação se transformará em ruído e onda aérea (sobrepessão atmosférica), se espalhando pelo entorno.

No Brasil a regulamentação do desmonte de rochas por explosivos é dada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, que por meio de pesquisas entre pico da velocidade com dados estruturais, estabeleceu dados aceitáveis de vibração do solo, por meio da Normativa Brasileira Registradora-NBR9653, estabelecendo alguns parâmetros compatíveis com a atual tecnologia e a segurança da população do entorno:

- Velocidade da vibração e partícula resultante: não deve ultrapassar o valor de 15mm/s;
- Nível de pressão acústica (sobrepessão do ar): definido por 134dB_L, correspondendo a uma pressão acústica de pico de 100pa, medidos além da área de operação;
- Ultralancamento: deve ser conferido fora da mina e “não” deve ocorrer.

Ainda que a normativa seja observada, nos casos de detonação com explosivos em meio urbano, os impactos ambientais são maiores, gerando conflitos constantes entre a mineradora e a comunidade, principalmente em decorrência dos seguintes impactos:

- Vibração do terreno: acarretam ondas sísmicas classificadas como ondas internas e superficiais. Essas ondas, sentidas para além da mina, podem causar diversos tipos de rachaduras nas residências vizinhas;
- Sobrepessão atmosférica: comumente causa tremor nas portas, janelas e objetos das residências, chegando a abalar as estruturas, conforme sua variação;
- Ultralancamento de fragmentos rochosos: oferecem risco de morte aos funcionários e vizinhança além de degradar as residências vizinhas.

Há também os impactos ambientais do solo, na fauna e flora, causados pelo desmatamento para ampliação da mina, soterramento de nascentes com o acúmulo das barreiras de estéril e o afastamento dos animais silvestres, em decorrência das explosões cotidianas.

A detonação com explosivos em céu aberto, dentro do perímetro urbano, ainda traz impacto socioambiental agravante, decorrente da expansão da mina, que é a aquisição de área para explorar e armazenar estéril. Nem sempre esta aquisição se dá de forma amigável e, ainda que a normativa da Servidão Mineral se aplique em favor da mineradora, a de se buscar o

consenso entre as partes envolvidas. O maior impacto ambiental é a perda da vida humana. A detonação por explosivos realizada incorretamente pode acarretar perdas e acidentes irreparáveis.

2.5.2 Ações mitigadoras possíveis

Os lançamentos de partículas juntamente com uma grande produção de poeira e ruído no momento da detonação são uns dos problemas ambientais causados pelo desmonte a céu aberto das rochas. O que afeta não apenas os funcionários da pedreira em questão, mas também a comunidade na redondeza da região, principalmente se tratando de zonas urbanas. Há também os impactos ambientais na fauna e flora da região da explosão.

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

No que diz respeito à produção de poeira e lançamento de partículas, são adotadas camadas de cortina vegetal que funcionam como uma barreira entre a explosão e o que se quer proteger, restando a passagem da poeira e contendo o lançamento de partículas pela vizinhança. Além disso, é necessário evacuar os arredores da área de desmonte, avisar a população próxima à essa área e manter avisos sonoros de atenção durante todo o procedimento.

Com relação ao ruído, a adoção de uma cortina vegetal também atua como isolante acústico, de forma a reduzir interferências na fauna e incômodo à população vizinha. Com relação à flora, com o esgotamento ou fechamento da pedreira, a área explorada deve ser recoberta com camada vegetal, de forma a recuperar a vegetação nativa pré-existente (STEFANI, 2019).

2.5.3 Alteração da qualidade do ar

A maior causa da alteração da qualidade do ar é a nuvem de poeira causada pela detonação, além do tráfego de veículos e a operação de equipamentos movidos a combustão, que provocam emissão de ruídos, poeira e lançamento de material particulado na atmosfera.

Ações mitigadoras:

- ✓ Molhar áreas expostas do solo de terraplanagem e vias do entorno;
- ✓ Manutenção preventiva nos veículos e maquinários, evitando emissão abusiva de gases e sujeiras;
- ✓ Minimizar níveis de ruídos durante a operação: explosivos, britadores, esteiras, etc.

2.5.4 Alteração do nível da pressão sonora

Causados pelas explosões, trânsito de veículos, britadores, esteiras e demais equipamentos.

Ações mitigadoras:

- ✓ Implementar as medidas de redução de ruídos e programa de monitoramento dos mesmos.

2.5.5 Alteração da superfície do solo

Em decorrência do desmatamento, da retirada da camada superficial do solo, estocagem do estéril, constrição de vias, aterros etc. Essas alterações provocadas pelas escavações podem ocasionar significativas mudanças no aspecto físico e nos recursos hídricos do entorno.

Importante a observação dos sítios arqueológicos não manifestos, com a orientação dos funcionários envolvidos na escavação ou terraplanagem.

Ações mitigadoras:

- ✓ A supressão vegetal só deverá ser realizada ao iniciar a extração, evitando deixar o solo descoberto por longo período;
- ✓ Estabilizar os processos de erosão assim identificados;
- ✓ Realizar o controle técnico e proteção do solo estocado;
- ✓ Executar programas de Prospecção e Resgate Arqueológicos, se necessário, de acordo com as diretrizes da Portaria do IPHAN, nº230 de 17/12/2002;
- ✓ Diante do achado arqueológico desenvolver Programa Patrimonial diversificado e participativo.

2.5.6 Alteração do sistema de água

Deve-se prever a interceptação dos cursos de água, uma vez que haverá alteração da recarga do aquífero, causada pela alteração do solo, assim como o fluxo da água superficial será alterado mediante as extrações implicando em redução das áreas de infiltração e um novo formato de escoamento de drenagem do local.

2.5.7 Flora e fauna

A flora e fauna são diretamente afetadas com a supressão vegetal, alteração do solo, alteração do sistema e água. Toda biodiversidade terá prejuízos, desde a perda da vegetação natural ao afugentamento dos animais pela perda do seu habitat, pelos ruídos, principalmente pelas explosões.

O desmatamento afeta diretamente o potencial biótico, provocando a alteração da paisagem e afugentamento dos animais para outras áreas, aumento do risco de atropelamentos, aumento de competição entre si, dentre outros.

Ações mitigadoras:

- ✓ O desmatamento só deverá ser feito em casos estritamente necessários, observando as nascentes, demarcando locais e evitando ultrapassar limites;
- ✓ Realizar a supressão vegetal e limpeza da área em períodos secos, afim de proteger as linhas naturais de drenagem, as áreas possíveis a erosão e à proteção da fauna;
- ✓ Realizar procedimentos de controle a erosão;
- ✓ A vegetação retirada não deve ser queimada;
- ✓ Ao iniciar um processo de supressão vegetal, deve-se tomar o cuidado de conduzir a fauna para vegetação mais próxima;
- ✓ Os funcionários devem ser orientados a não retirar espécies botânicas e proibidos a qualquer atividade de caça, nas áreas afetadas pelo desmatamento;
- ✓ As vias e áreas desmatadas deverão ser molhadas regularmente evitando a emissão excessiva de poeira;
- ✓ Desenvolver ações projeto de educação ambiental, orientação sobre métodos de reconhecimento de animais peçonhentos e prevenção de acidentes com ofídios;
- ✓ Definir diretrizes do código de conduta regulando as atividades dos trabalhadores nas frentes de trabalho.

2.5.8 Área de Preservação Permanente-APP; Reserva Legal; Unidades de Conservação; Área de Preservação Ambiental-APA

O empreendimento de reconhecer e demarcar as Áreas de Proteção Permanente, Reserva

Legal, Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Ambiental com placas e fechamentos adequados, para que não ocorra a supressão indevida e não autorizada pelos órgãos competentes.

Controle de trânsito nas áreas de preservação evitando o desgaste da vegetação e impactos sobre a área preservada.

Desenvolver um plano de Controle e Monitoramento Ambiental com programas específicos de controle de desmatamento e recuperação das áreas degradadas.

2.5.9 Relacionamento com a comunidade

Desde a implantação da mina à fase da produção o relacionamento com a comunidade é desafiador, gerando tensão com a população e causando problemas que podem ser evitados com algumas ações mitigadoras importantes:

- ✓ Criação de um programa de comunicação social;
- ✓ Realizar reuniões periódicas com a comunidade, buscando esclarecer todas as etapas do empreendimento e fluxo do empreendedor com cidades vizinhas;
- ✓ Manter diálogo franco e transparente com a população esclarecendo dúvidas, apresentando cronograma de atividades da exploração, a fim de minimizar conflitos.

2.5.10 Risco de acidente de trânsito

Com o funcionamento do empreendimento o risco de acidentes de trânsito é muito maior, em consequência da circulação de veículos e equipamentos pesados, caminhões carregados que eventualmente causam degradação das vias, emissão de poeira e fragmentos de pedras, além do congestionamento das localidades.

Ações mitigadoras:

- ✓ Esclarecer a comunidade do entorno quanto os quantitativos, periodicidade e horários de pico de trânsito e utilização de equipamentos causadores de ruídos;
- ✓ Veículos e máquinas pesadas devem trafegar em baixa velocidade, com faróis ligados e faixas laterais sinalizadas;
- ✓ A transição de equipamentos pesados deve ser realizada com a equipe de

sinalização e socorro, evitando transtornos em casos de acidentes e ou falha do equipamento;

- ✓ Importante estabelecer um programa de Comunicação Social.

2.5.11 Acidentes ocupacionais

Os trabalhadores envolvidos na mineradora ficarão expostos a doenças ocupacionais, destacando aquelas provocadas pela poeira e ruídos. O uso correto de Equipamentos de Proteção Individual - EPI's pode amenizar as consequências.

Ações Mitigadoras:

- ✓ Toda área da mina deve ser equipada com sinalização de segurança;
- ✓ Fornecer e cobrar dos funcionários equipamentos de segurança – EPI's;
- ✓ Realizar manutenção constante nos veículos e equipamentos evitando emissão excessiva de ruídos;
- ✓ Atualizar técnicas de explosão a fim de diminuir a emissão de ruídos e poeiras;
- ✓ Dotar os canteiros de obra com equipamentos de primeiros socorros;
- ✓ Ter um cronograma de capacitação dos funcionários a fim de conhecerem e saberem utilizar os equipamentos de trabalho, principalmente os de alta periculosidade como explosivos, perfuratrizes e os demais;
- ✓ Realizar exames médicos periódicos, preventivos, assim como oportunizar à vacinação, envolvendo todo quadro de funcionários.

Muito dos impactos entre a comunidade e a mineração podem ser evitados ou minimizados com pesquisa prévia à abertura da mina, uso de instrumentos correta, criando parâmetros mitigadores dos impactos que garantem a segurança dos funcionários e da população vizinha.

Importante observar:

- O cumprimento de normas e regulamentação vigentes;
- Formação técnica e continuada dos profissionais da área de detonação;
- O uso de máquinas, explosivos, acessórios e sistema de iniciação de qualidade e em condições de segurança.

A segurança dos desmontes das rochas deve ser observada desde o transporte dos

explosivos para mineradora, assegurando o respeito e aplicação das normas e regulamentos, além da fiscalização, avaliação e correção dos problemas ocorridos.

2.6 Beneficiamento

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

A norma NBR 7211:2009 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Dessa forma, define areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira de 0,075 mm. Define ainda agregado graúdo como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira de 4,8 mm. O rachão beneficiado define-se como o material obtido diretamente do britador primário e que é retido na peneira de 76 mm. Já a bica corrida, segundo Albuquerque (1994), é o conjunto de britas, pedrisco e pó de pedra, sem graduação definida, obtido diretamente do britador, sem separação granulométrica. Existem ainda outros tipos de agregados com granulometrias bem definidas e uniformes, como é o caso das britas 1, 2, 3 e 4, distinguindo-se pelo tamanho da malha da peneira (STEFANI, 2019)

De acordo com La Serna e Resende (2013), os agregados para construção civil são bens de baixo valor unitário, mas com os maiores volumes físicos de comercialização dentre todos os produtos da indústria mineral.

Seus usos estão ligados às suas propriedades de granulometria e resistência, mas sem que a diferenciação no produto exista como estratégia relevante de concorrência. Aproximam-se mais do conceito microeconômico de bens homogêneos, o que acarreta um padrão de concorrência mais voltado à eficiência e redução dos custos.

Ainda segundo La Serna e Resende (2013), na produção nacional, predominam as minas de pequeno porte, um fato em parte explicado pela existência de micromercados regionalizados.

Como os custos de transporte inviabilizam o comércio entre grandes distâncias, os mercados onde cada mina pode destinar sua produção ficam limitados. Nesse caso, a escala de produção fica restrita aos volumes compatíveis com o que cada mercado regional pode absorver.

De acordo com os levantamentos de dados realizados pelo IBRAM, apresentados no

Seminário Novos Desafios da Pesquisa, Política e Economia Mineral em 2018, os agregados utilizados na construção civil constituem o segundo bem mineral mais extraído em 2017, se aproximando muito da extração de minério de ferro.

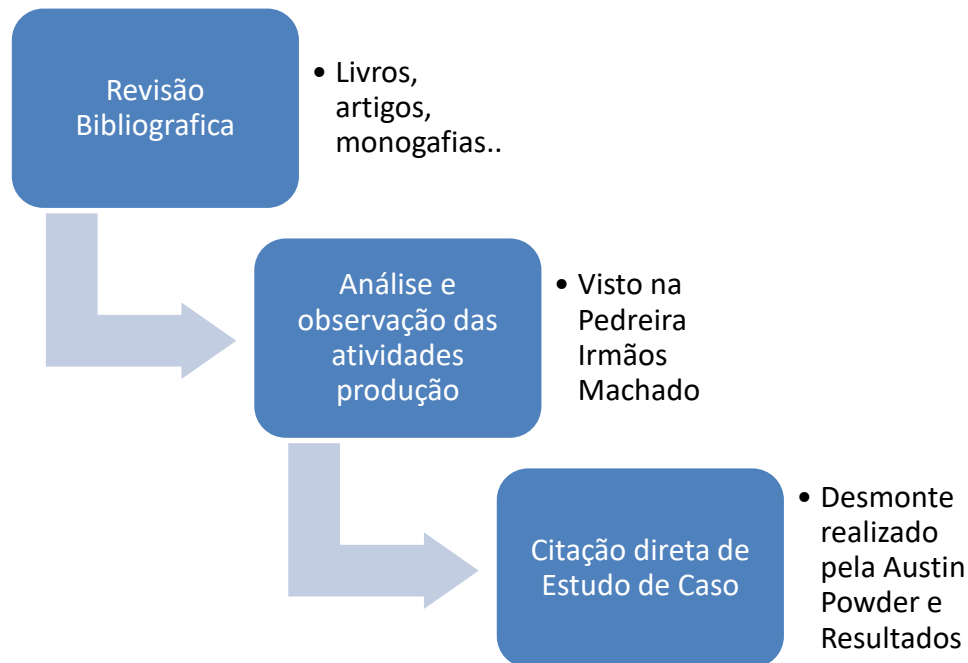
Nota-se também uma redução dessa produção mineral com relação aos dois anos anteriores, que pode ser explicada devido à um declínio do poder econômico do país e também ao desenvolvimento de novas tecnologias de reciclagem e reintrodução de rejeitos provenientes da construção civil como substituição de agregados.

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

- Para cada km de uma linha do metrô são consumidos 50.000 toneladas de agregados;
- Para cada km de estrada pavimentada são consumidos cerca de 9.800 toneladas;
- Em casas populares de 50 m² são consumidas 68 toneladas;
- Em edifícios são consumidos 1.360 toneladas para cada 1.000 m².

Com isso, nota-se a importância da extração pétrea no Brasil, alinhado com o crescimento do setor da construção civil do país (STEFANI, 2019).

3 METODOLOGIA



Para a realização do trabalho em questão foi feita através de revisão bibliográfica, analisando obras como livros, tcc, monografia e artigos em que a área de estudo se tratava de desmonte de rochas de forma geral, com ênfase em desmonte controlado e suas variáveis, para dar um embasamento teórico.

Além da análise bibliográfica, também houve a observação das operações de lavra e beneficiamento de rocha para a produção de agregados que são realizados na Empresa Pedreira Irmãos Machado. A empresa está localizada no Distrito de Amarantina, Município de Ouro Preto/MG.

O processo que foi observado consiste em:

Trata-se de uma lavra de gnaiss a céu aberto, mecanizada, em bancadas sucessivas descendentes com altura variando de 10 a 12 metros, taludes verticais e que compreende todos os serviços com a finalidade de aproveitamento da rocha. A operação de mina consiste em duas KOMATSU PC500, três PC350 e uma PC200, oito caminhões Randon 435 e oito caminhões traçado terceirizados, produzem em média oito mil toneladas por dia e apresenta uma relação estéril minério de 1:1.

Os equipamentos de perfuração consistem em duas perfuratrizes hidráulicas modelo WOLF FOX 8-20 e duas perfuratrizes pneumáticas modelo PW5000. A malha de perfuração é do tipo estagiada (ou “Pé de Galinha”) sendo o afastamento de 2,5 metros e o espaçamento de 3,0 metros. Os furos possuem diâmetro de 3,5 polegadas e profundidade variando de 10 a 12 metros, sendo que 1 metro são de sub-furação.

O desmonte da rocha é realizado com a utilização de explosivos, sendo que o carregamento dos furos com explosivos e a detonação é realizada por empresa terceirizada, DINASER/AUSTINPOWDER, devidamente habilitada para a realização desta atividade. Os furos são carregados com explosivos do tipo emulsão encartuchada na base (carga de fundo) e no restante (carga de coluna), com explosivos do tipo emulsão bombeada ou encartuchada, deixando-se, na porção superior de 1,5 a 2,0 metros para o tamponamento (bancadas mais altas em relação ao fundo da mina possuem tamponamento maior) com brita zero ou pó de pedra. A linha da frente (1ª linha em relação à Face Livre) é sempre carregada com explosivos do tipo emulsão encartuchada em toda a sua extensão. Isto é feito para se evitar qualquer tipo de ultra lançamento de rocha, pois os explosivos do tipo emulsão encartuchada tem uma Razão de Carga (quantidade de explosivo por volume de rocha) menor que os explosivos do tipo emulsão bombeada. Ressalta-se que os fogos são carregados e escorvados com a utilização da denominada linha silenciosa, para amenizar os efeitos da detonação para com as comunidades vizinhas e iniciação eletrônica.

A rocha sã desmontada é carregada através de escavadeiras hidráulicas sobre esteiras e disposta em caminhões fora de estrada basculantes e caminhões traçados que transportam o material até a instalação de britagem e peneiramento da empresa. Ressalta-se que, durante todo o turno de produção, é feita a aspersão das vias de circulação dos caminhões através de caminhão pipa.

Ou seja, através de ambos, a análise bibliográfica e a observação do desmonte realizado na Empresa Pedreira Irmãos Machado, que o trabalho presente será realizado.

4 ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso ocorreu na Pedreira Irmãos Machados (Unidade PIM) localizada em Amarantina-MG. Os dados a seguir constam no Relatório Técnico.

Figura 1- Localização da mina Pedreira Irmãos Machado



4.1 Contextualização

Após a detonação que ocorreu dia 20 de outubro, foi realizada pelo cliente uma notificação acerca de fragmentação não desejável em uma área específica do Desmonte _PIM_P36. Nesta data, haviam 2 bancos de desmontes (Desmonte _PIM_P36 e Desmonte_PIM_P37), sendo o Desmonte_PIM_36 com 226 furos localizado no banco inferior aproximadamente a 50m de distância do Desmonte_PIM_37 que possuía 44 furos. O presente relatório técnico – Desmonte PIM buscou analisar e apresentar todas as possíveis causas que originaram essa divergência, como também identificar e corrigir para os próximos desmontes na PIM.

4.2 Análise das qualidades dos explosivos e acessórios utilizados

Para qualquer produto fabricado na Planta da Austin Powder Brasil, existe um controle de qualidade, realizado de acordo com o procedimento, política de qualidade e as normas de segurança da Austin Powder Internacional. Neste desmonte, usou-se o produto bombeado Nitromax, que foi produzido no mesmo dia de saída de aplicação (19 de outubro). Segundo a

avalição a seguir, verifica-se que não ocorreu nenhuma alteração na formulação do produto, como também nenhuma divergência durante todo o processo de fabricação. É importante ressaltar que nestes dois desmontes realizados na Pedreira PIM, no dia 20 de outubro, utilizou-se de 21 ton para os dois bancos, sendo o Desmonte_PIM_P37 com 2,7 ton explosivo utilizado (não apresentando nenhum problema de fragmentação). O Desmonte_PIM_P36, o qual é objeto de análise, com 18,39 ton explosivo utilizado, apresentou fragmentação não desejável em uma parte do banco. Este mesmo desmonte apresentou partes laterais fragmentadas de forma aceitável.

4.3 Análise do carregamento

No dia 20 de outubro, foram realizados 2 desmontes: o P36 e o P37. No dia 19 de outubro, iniciou-se o carregamento do desmonte_PIM_P36 em 90% do carregamento. No dia 20 de outubro, dia do desmonte, foi finalizado o carregamento do desmonte_PIM_P36 e iniciado e finalizado o desmonte_PIM_P37.

Os nomes dos integrantes das equipes que realizaram os desmontes serão mantidos em sigilo.

4.4 Carregamento do Desmonte de Produção (Desmonte_PIM_P36)

Para o carregamento dos furos de produção do desmonte_PIM_P36 foram utilizados os seguintes produtos:

- E*Star Gold HD 24m: 226 Pcs.
- Escorva de fundo Booster 230g: 226 Pcs.
- Explosivo emulsão bombeada puro: 18.240 kg.
- Explosivo emulsão encartuchado: 150 kg.

4.5 Perfuração do Desmonte_PIM_P36

- Marcação dos furos: O cliente realizou a marcação de forma manual (sem utilização do serviço Desviometria & Perfilometria 3D).
- Perfuração: Realizado pelo cliente.

- Serviço de Perfilometria & Desviometria após perfurado: Foi realizado a análise de Desviometria & Perfilometria da primeira linha do desmonte P36 pela Austin Powder Tech Service. Relatório Técnico será analisado com detalhes.

4.6 Parâmetros Geométricos do Desmonte_PIM_P36

- Altura (H)= 12,35m.
- Diâmetro de perfuração(Φ) = 89mm (3 1/2”).
- Afastamento= 2,5m.
- Espaçamento= 2,8m.
- Tampão= 1,5m (requisitado pelo cliente).
- Tampão real= 1,6m (decidido pelo blaster da Austin Powder).
- Sub-furação =1,0m.
- Inclinação =0°.
- Número de furos= 226.
- Volume *in situ* = 19.775m³.
- Rocha: Gnaisse com densidade 2600kg/m³.
- Massa Desmontada = 51,415 ton.
- Consumo de explosivo total = 18390kg.
- Razão de Carga = 0,930kg/m³.
- Razão de Carga= 0,358ton/m³.

4.7 Carregamento Pré-Corte do Desmonte_PIM_P36

Produtos utilizado:

- Detonador E*Star Gold HD 24m: 70 Pcs.
- Escorva de fundo Booster 230g: 70 Pcs
- Explosivo emulsão encartuchado (1”X 24”): 450 kg

Os seguintes parâmetros se aplicam ao desmonte de levante:

Segundo as informações do Blaster em campo, o carregamento realizado no Desmonte_PIM_36 e a equipe operacional não apresentaram nenhuma divergência durante grande parte do carregamento. De acordo com a altura média da bancada, foi solicitada uma densidade final do copo em 1,06 a 1,10 g/cc. Esta densidade no copo chegará a uma densidade

média próximo a 1,2g/cc, densidade habitual para gnaisses na região sudeste. Neste banco foram utilizados duas UMBs.

Em seguida, a Figura 2 apresenta os controles de densidades das duas UMBs.

Figura 2- Controle de Densidade das UMBs

NITROSUL		FORMULÁRIO														NS.PR.FORM.024 Pagina 1/1	
ASSUNTO		Controle de Reatividade e estabilidade Emulsão Bombeada														Revisão 0	
EMIÇÃO		Controle da Qualidade														jul/22	
AMOSTRA	DATA	HORA INICIO	UMB	DESIDADE SOLUÇÃO NITRITO	DENS. SOL. NITRITO ml/kg	TEMPO EMULSÃO	PESO AMOSTRA	DENS. 0 min	DENS. 10 min	DENS. 20 min	DENS. 30 min	DENS. 40 min	DENS. 50 min	DENS. 60 min	HORA FINAL	RESPONSÁVEL	
	19/out	06:20															
		08:15		15	500	22	630	1.26	1.18	1.12	1.10	1.09	1.08				
		08:30		15	400	29	630	1.26	1.20	1.15	1.14	1.12	1.10				
		08:50			400	33	640	1.28	1.18	1.15	1.13	1.13	1.08				
		09:10			500	35	630	1.26	1.18	1.16	1.15	1.12	1.10				
		09:30			900	35	620	1.24	1.18	1.17	1.14	1.10	1.09				
		10:00			1000	33	630	1.26	1.18	1.15	1.13	1.12	1.10				
		14:00			1000	34	620	1.26	1.18	1.16	1.14	1.10	1.06				

NITROSUL		FORMULÁRIO														NS.PR.FORM.025 Pagina 1/1	
ASSUNTO		Controle de Reatividade e estabilidade Emulsão Bombeada														Revisão 0	
EMIÇÃO		Controle da Qualidade														jul/22	
AMOSTRA	DATA	HORA INICIO	UMB	DESIDADE SOLUÇÃO NITRITO	DENS. SOL. NITRITO ml/kg	TEMPO EMULSÃO	PESO AMOSTRA	DENS. 0 min	DENS. 10 min	DENS. 20 min	DENS. 30 min	DENS. 40 min	DENS. 50 min	DENS. 60 min	HORA FINAL	RESPONSÁVEL	
	19/out	13:35		15	300	34	636	1.27	1.16	1.11				1.08			
					300	37	630	1.26	1.15	1.10				1.07			
					280	40	625	1.25	1.15	1.09				1.07			
	22/out				240		630	1.26	1.16	1.11				1.08			
					240		625	1.25	1.15	1.10				1.09			

Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

O carregamento do Desmonte_PIM_36, foi realizado de forma normal, com mangueira até o fundo (independente se os furos possuíam, ou não, água), com o intuito de evitar a mistura do produto bombeado com presença de água, resultando em menor performance do rendimento do produto.

A primeira linha de carregamento - linha frontal do banco - apresentou furos pesados (perfilometria que será analisado em sequência). Esta linha dos furos foi carregada com produtos emulsão de forma normal, devido ao peso do banco em relação aos furos. Não houve nenhuma necessidade de alívio dos furos (reduzir controle de carregamento para evitar ejeção de furos, fly rock).

Foi verificada uma área com litogia escura do banco, dique máfico ou uma área de transição, que mostra visivelmente no perfil do banco. Nesta área foi constatada a presença de água em todos os furos. Existem relatos que esta área de transição já teve problemas em outros desmontes, contudo, esse fato não será base para esta análise.

Neste desmonte, também foi realizado o carregamento de pré-corte com os produtos e parâmetros geométricos mencionados anteriormente. Durante o carregamento, nenhum

problema operacional foi evidenciado ou discutido na operação do pré-corte. Todo o processo de carregamento realizado de forma normal.

4.8 Análise de Perfilometria & Desviometria 3D, Desmonte de Produção

No dia 19 de outubro foi realizada a análise de perfilometria no Desmonte_PIM_36, com os equipamentos técnicos da Austin Powder Brasil (Drone + Agsoft + OptDev + Paradigm), em toda a face da bancada. Foram analisados 64 furos. A foto aérea aponta os furos em que foram realizadas as análises de perfilometria e desviometria 3D.

Figura 3- Imagem dos furos em que foram realizadas as análises de perfilometria e desviometria



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

A seguir será apresentado os principais pontos:

- Frente pesada: Em relação ao afastamento utilizado, todos os furos apresentaram frentes pesadas. O afastamento utilizado no desmonte foi de 2,5m, entretanto existiam afastamentos que variavam entre 2,5m (0%) até 6m (240% superior ao planejado). Comumente é recomendado o uso superior de 5% de desviação na perfuração em relação a frente livre, ou seja, esta metragem deveria ser como + 5% o valor planejado de 2,62m (Poucos furos que obtiveram esta metragem). Na área específica, onde ficou uma área mais grosseira - aparentemente os furos 24 a 13 - mostram os perfis que tiveram um menor deslocamento da frente da bancada.
- Distribuição de energia do explosivo nos furos pesados: os furos com frente pesada significam que a distribuição de energia não atuará de forma contínua, ou mesmo dependendo da frente pesada, não haverá energia suficiente para arrancar e deslocar a primeira linha de desmonte, que é a linha mais importante para que as demais linhas de desmonte possam trabalhar de forma normal. Uma linha pesada, resultará em uma má

distribuição de energia dos furos ou linhas e, conseqüentemente, um desmonte com fragmentação não desejada. Verifica-se furos pesados em todo o banco e isso pode dificultar a saída da frente livre, onde uma distribuição de energia (kg/m^3) deve ser proporcional. No caso em análise, todos os furos de frente pesado possuem Razões de Cargas nos fundos dos furos abaixo do planejado, o que dificulta os demais furos de trás e, conseqüentemente, as saídas dos demais.

- **Altura da bancada em relação aos furos perfurados:** De acordo com os perfis avaliados, alguns furos apresentaram alturas das bancadas menores que as profundidades. As bancadas com alturas menores que os furos já perfurados, dificultará ainda mais a distribuição de energia do explosivo, resultando uma perda de energia do explosivo por meio de perdas de gases em outras direções. Conseqüentemente, haverá menor performance do explosivo e comprometimento de todos os furos adjacentes.
- **Inclinação dos furos a frente da bancada:** De acordo com os perfis avaliados, grande parte dos furos apresentaram inclinações abaixo de 4 graus (51 furos, 80%), e várias inclinações acima de 4 graus (5 a 16 graus) que foram realizadas segundo a frente pesada dos furos (13 furos, 20%). Percebe-se que os furos que possuem inclinações acima de 4 graus, ainda que na tentativa de diminuir as frente pesadas, continuaram pesados. Outros furos que foram realizados com inclinações obtiveram bons frente de banco, por exemplos, os furos 9, 18 e 54. Os demais furos apresentaram frentes pesados.

4.9 Análise do Sequenciamento dos tempos

No desmonte_PIM_36, foi realizado uma análise prévia do sequenciamento dos tempos de acordo com os últimos tempos e desmontes já utilizados com produtos eletrônicos de outras empresas na Unidade PIM. Esse procedimento foi feito como prática para manter o mesmo padrão de fragmentação que a Mina deseja. Este mesmo sequenciamento de tempo foi utilizado no Desmonte_PIM_36, com os produtos E*Star HD (Eletrônicos da Austin Powder).

A avaliação final foi apresentada ao Gestor da Mina e para equipe técnica da PIM, aprovando os tempos e isolinhas do desmonte. De acordo com as Isolinhas, não houve nenhuma influência no resultado de desmonte, apresentando resultado não desejável em uma área específica. Pelo contrário, caso houvesse tempos ou sequenciamento não apropriados, e ainda com uma frente de rocha pesada, mais negativo seria o resultado de desmonte geral (FIG. 4).

4.10 Avaliação pós-detonação

Foi promovida uma avaliação em vídeo do Desmorte_PIM_P36, que será detalhada a seguir.

4.10.1 Análise de vídeos da detonação

O vídeo da detonação, capturado pelo Blaster da Austin Powder e pelo cliente, foram analisados objetivando identificar as fontes de não deslocamento de uma frente da bancada. A análise foi feita com o vídeo em câmera lenta, com a velocidade de reprodução em 0,125x. A qualidade da filmagem feita pelo Blaster da equipe Austin Powder e posição quase frontal da câmera, possibilitou melhor visualização da evolução da detonação em detalhes.

O desmorte_PIM_P36 apresenta as seguintes etapas de movimentações que serão discutidas a seguir.

1. Detonação dos furos de pré-corte (Figura 6, furos pré-cortes)
2. Detonação dos furos de produção (Figuras 7,8,9 e 10, furos de produção)
 - Desmorte da primeira linha da bancada (furos da perfilometria 50 a 64).
 - Desmorte da primeira linha da bancada (furos da perfilometria 34 a 50).
 - Desmorte da primeira linha da bancada (furos perfilometria 34 a 24).
 - Desmorte da primeira linha da bancada (furos perfilometria 24 a 01).

Figura 5- Apresentação da linha de frente da bancada



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

Desmorte da primeira linha da bancada (Figuras 6, furos pré-cortes):

Inicialmente, percebe-se a detonação dos dois pré-cortes das laterais (total de 70 furos, divididas nas laterais), conforme o sequenciamento planejado. A Figura 6, aponta o desmorte

realizado de forma correta, sem nenhuma divergência.

Figura 6- Frente de banco relacionado aos furos de pré-corte



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

Desmonte da primeira linha da bancada (furos da perfilometria 50 a 64):

Posteriormente aos desmorte pré-cortes, iniciou-se as saídas dos furos de produção em sequência, onde percebe-se 4 etapas de movimentações das frentes do banco. A Figura 7 está relacionada aos furos 50 a 64 e, mesmo com frente pesada, é possível identificar a saída e o deslocamento de toda a frente de desmorte. Contudo, nota-se uma pequena geração de gases por trás da frente dos furos, evidenciando uma perda de performance de explosivos.

Figura 7- Desmorte da primeira linha da banca (furos 50 a 64)



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

Desmonte da primeira linha da bancada (furos 34 a 50):

A Figura 8 está relacionada aos furos 34 a 50. É verificado os furos sendo lançados, mas de uma forma mais lenta e pesada. Isso ocorreu devido as condições dos furos (perfis), demonstrado no relatório de perfilometria & desviometria 3D.

Figura 8 - Desmonte da primeira linha da bancada (furos 34 a 50)



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

Desmonte da primeira linha da bancada (furos 34 a 24):

A Figura 9 está relacionada aos furos 34 a 24. É demonstrado um menor deslocamento de toda a frente do banco onde possui, além de uma frente muito pesada (conforme os perfis dos furos), uma área da rocha de transição.

Figura 9 - Desmonte da primeira linha da bancada (furos 34 a 24)



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

Na Figura 10, percebe-se que os furos de trás estão escapando gases por áreas de menor resistência, que são exatamente os furos laterais e áreas de tampão, em consequência de furos pesados. Isso impossibilita os furos da linha de trás saírem de forma normal ou com uma distribuição de energia adequada.

Figura 10 - Furos de trás escapando gases por áreas de menor resistência



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

Desmonte da primeira linha da bancada (furos 24 a 01):

A Figura 11 está relacionada aos furos 24 a 01. Ela mostra a frente sendo lançada de forma lenta, contudo é mostrado que todos os furos foram lançados e fragmentados.

Figura 11 - Desmonte da primeira linha da bancada (furos 24 a 01)

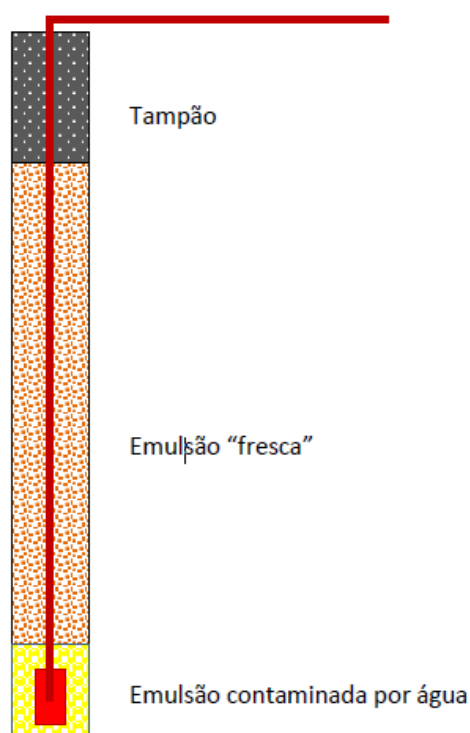


Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

4.11 Produto encontrado na bancada após desmonte

De acordo com as evidências fotográficas e informações disponibilizadas pelo cliente é possível notar a presença de emulsão em alguns furos, uma vez que todos os detonadores eletrônicos foram disparados (o relatório emitido pelo blast machine lista quais detonadores estavam presentes e operativos durante a detonação). Neste caso, pode-se concluir que embora o detonador eletrônico tenha disparado acionando o booster, ele possivelmente não estava em contato com produto fresco (possivelmente contaminado por água) o que resultou a interrupção da coluna explosiva para estes furos

Figura 12 - Ilustração de parte da emulsão contaminada com água no fundo do furo



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

4.12 Estudo das prováveis causas

4.12.1 Durante a aplicação do produto no campo

Embora a equipe que realizou o carregamento não tenha relatado nenhuma anomalia relacionada a carga, algumas evidências fotográficas fornecidas pelo cliente durante a escavação da região do desmonte com fragmentação inadequada, constataram a presença de emulsão não detonada em alguns furos (3 furos). Essa condição indica um procedimento errôneo por parte da equipe de carregamento, uma vez que o booster possivelmente não foi

posicionado em contato com produto fresco, e sim em produto contaminado com água (erro de levantamento de booster e operação com mangueira). Visto que a área com fragmentação inadequada é restrita e não ampla, descarta-se um problema de fabricação da emulsão, já que os dados de qualidade fornecidos pela fábrica demonstram que ela foi enviada dentro dos padrões aceitáveis para aplicação em campo. A lista dos detonadores disparados pelo Blast Machine indica que todos os detonadores programados para este banco foram detonados.

Figura 13 - Escavação da zona de fragmentação inadequada mostrando resquícios de emulsão não detonada



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

4.12.2 Produto emulsão fábrica e transparência na UMB

Todas as etapas de avaliações do produto emulsão foram avaliadas e discutidas anteriormente. A primeira etapa de fabricação foi totalmente descartada (Relatório Análises de fabricação), visto que todo produto produzido foi utilizado nos dois desmontes, onde houve um desmonte (Desmonte_PIM_37) com alta performance de resultado de fragmentação e lançamento. No próprio desmonte, houve uma performance normal de resultado de fragmentação mesmo em condições mais difíceis (frente pesada).

A etapa de transferência do produto da Truck e de transferência a UMB Tecsul, também foi descartada pois o Truck de transferência é apenas um tanque que recebe o produto e transporta até a Unidade de bombeio. Não existe uma bomba do truck que transfere este produto para UMB. A UMB que possui uma bomba de cavidade progressiva (Nemo), possui uma válvula que bloqueia a sucção e passagem do produto por meio do misturador estático (FIG.

14). O produto é transferido do Truck – bomba Nemo (sem passar pelo misturador), evitando que produto seja “batido” ou “reprocessado” e perdendo a performance do produto emulsão. Este tipo de uso é normal e já vem sendo utilizado em diversas operações que necessitam realizar a transferência de produto de forma rápida e prática, mantendo o produto estável.

Figura 14 - Válvula de bloqueio da sucção e passagem do produto através do misturador estático



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

Durante a aplicação em campo, mesmo com a supervisão do Blaster da Austin Powder e da Supervisão de Campo da PIM, não foi identificada nenhuma divergência operacional. Diante disso, pode-se ter passado em alguma zona específica uma má aplicação operacional permitindo que algum furo não tenha sido carregado de forma correta. Não se pode descartar a possibilidade de erro humano operacional. Uma das causas que pode ter influenciado na baixa performance de energia na zona é onde mostra menos lançamento e onde foi encontrado 3 furos com produtos (emulsão bombeado) não detonado.

4.13 Litologia da área especificada

O banco P37 se apresenta com litologias distintas onde nota-se a presença de um dique de material máfico - região destacada em vermelho - como podem ser visualizados nas fotografias frontais e aéreas feitas por drone.

Segundo a literatura técnica, as mudanças abruptas na litologia podem ter um impacto nos resultados do desmonte. Em tradução livre, tem-se o seguinte: Desmontes em áreas onde

se produz uma mudança litológica brusca, e consequentemente uma mudança nas propriedades resistentes das rochas obriga uma reconsideração do desenho do desmonte, podendo-se seguir dois caminhos:

- Desenho de malhas iguais para os dois tipos de rochas e variação das cargas unitárias.
- Desenhos distintos, porém, com igual carga por furo. Esta disposição pode ser aderida mantendo a igual dimensão do afastamento e variando o espaçamento.

Quando os materiais de características de resistência são muito diferentes e os furos atravessam estas formações, se terá uma grande perda de energia associada com a queda de pressão e escape de gases ao produzir-se deformações rápidas nos materiais mais brandos e por consequência, uma má fragmentação (JIMENO; JIMENO; BERMUDEZ, 2019).

Figura 15 - Imagem da mudança abrupta na litologia



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

Figura 16 - Dique máfico vista frontal



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder, 2022.

Figura 17 - Dique máfico, vista aérea da detonação



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

Figura 18 - Dique máfico, vista pós detonação



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder, 2022.

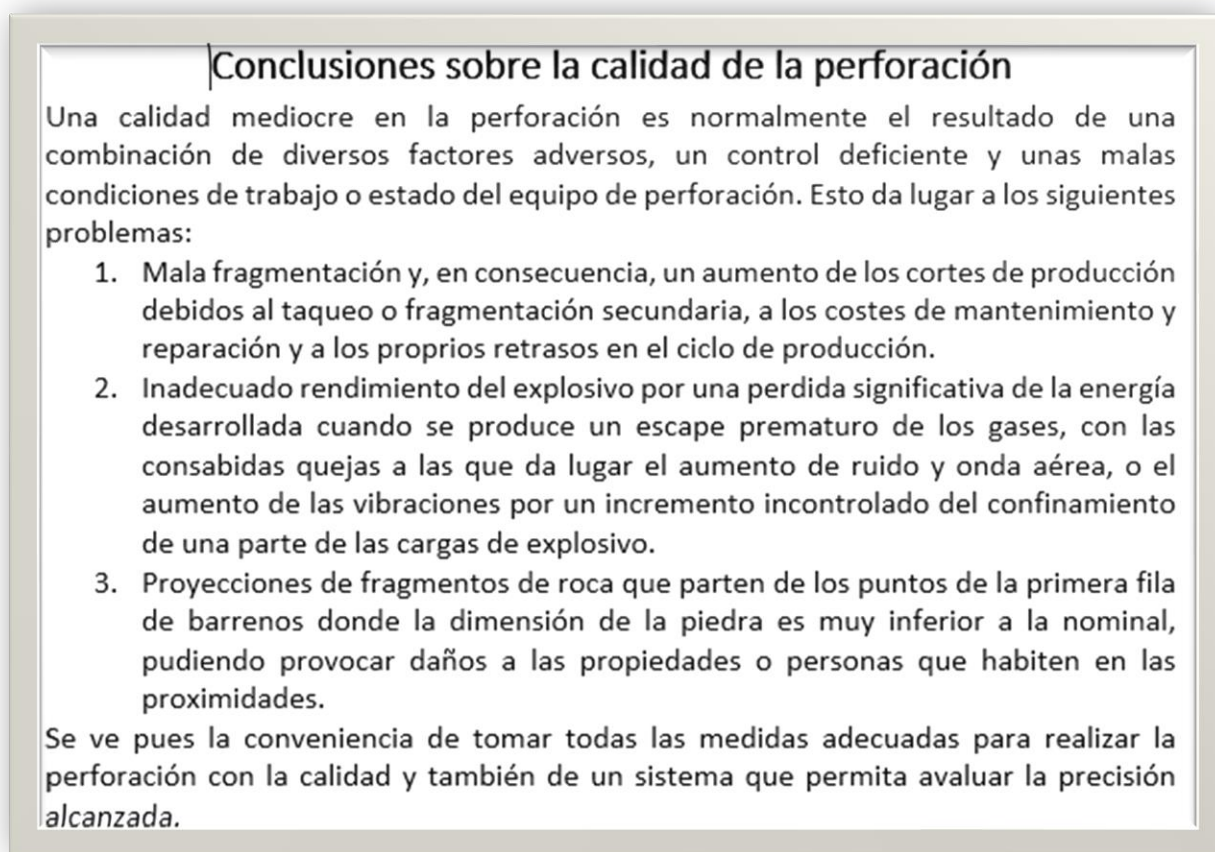
4.14 Qualidade de perfuração

Para o resultado de desmonte é fundamental que a perfuração seja feita da forma correta, ou no mínimo, aceitável para obter um bom desempenho de desmonte com explosivos. Em teoria e prática, existem vários fatores que levam o resultado final de desmonte ao fracasso devido à baixa performance de perfuração: erro de posicionamento dos furos a ser perfurado, erro de inclinação planejada ou falta de inclinação a frente de desmonte, erro de azimute dos furos, erro de desviação dos furos, erro de profundidade dos furos e furos entupidos ou com cavidades. De acordo com a literatura técnica, a qualidade da perfuração é fator primordial para se atingir os resultados esperados do desmonte, tanto em termos de segurança quanto de produtividade (JIMENO; JIMENO; BERMUDEZ, 2019, p. 587). Em tradução livre, é feita a seguinte descrição de problemas que estão associados a uma perfuração defeituosa (Figura 19):

- Má fragmentação e, em consequência, um aumento dos custos de produção devido a desmonte secundários, custos de manutenção, reparação e atrasos no ciclo de operação.
- Inadequado rendimento do explosivo por uma perda significativa da energia desenvolvida, quando se produz um escape prematuro dos gases, com aumento do número de queixas da vizinhança devido ao aumento de ruído, sobre pressão atmosférica e vibrações por um incremento incontrolado do grau de confinamento por uma parte da carga de explosivo.

- Ultra lançamentos de fragmentos de rocha que partem de pontos da primeira fila de furos onde a dimensão do afastamento é muito inferior a nominal, podendo provocar danos as propriedades ou pessoas que habitem as proximidades.
- No Desmonte_PIM_P36 foi notado baixo performance do resultado final de perfilometria e desviometria 3D, demonstrando que quase a totalidade dos furos encontram-se com frente pesada (muito acima do afastamento a frente da face livre). Isso resultou nos dois principais problemas mencionado acima: má fragmentação e inadequado rendimento do explosivo.

Figura 19 - Conclusões sobre a qualidade da perfuração



Fonte: Cedida pela empresa Austin Powder (2022)

4.15 Conclusões e Plano de Ação

A partir da análise de vídeo e dados de carregamento pode-se concluir que os fatores que contribuíram em maior grau para a geração de área do banco com fragmentação não-desejada foram:

- **Aplicação do produto bombeado em campo:** Ainda que não tenha sido encontrada evidências ou indícios reais de má aplicação em campo, podemos mencionar que pode ter ocorrido um problema operacional durante a aplicação do Desmonte_PIM_P36, como erro humano ou erro operacional de bombeio.

Plano de Ação Imediata (Reciclagem de treinamento operacional de carregamento de campo e Boas práticas ao time operacional da Austin Powder).

- **Litologia da área específica:** Existe a possibilidade de má performance do explosivo na área onde encontra-se uma transição da rocha.

Plano de Ação Imediata (Na Litologia com área de transição será recomendado desenvolver previamente um novo parâmetro geométrico, como também a utilização de encamisamento (filmes plásticos) para diminuir problemas de resultado de desmonte.

- **Qualidade de Perfuração:** De acordo com o relatório de perfilometria e Desviometria 3D e também deste relatório técnico, concluiu-se que o mau resultado do Desmonte_PIM-P36 foi devido à baixa performance de perfuração, resultando em uma fragmentação não-desejada em uma parte do desmonte.

Plano de Ação Imediata: Uso do serviço de Perfilometria & Desviometria 3D (Drone + O-pitDev + Paradigm) com marcação dos furos a ser perfurados de forma planejada e bem dimensionada por meio do software Paradigm para todos os desmonte de produção, com objetivo de evitar furos pesados e mau dimensionados.

CONCLUSÃO

Como pudemos analisar ao longo da pesquisa em questão que o desmonte de rochas em pedreiras realizado tradicionalmente com explosivos necessita de uma série de cuidados, graças ao alto risco de periculosidade. Visto que é uma prática que pode ser classificada como essencial para a construção civil, somando-se a necessidade de se atentar a segurança, meio ambiente e financeiro das mineradoras, é essencial o estudo metucioso para o desenvolvimento e utilização de técnicas mais desenvolvidas.

Observamos também que as variáveis associadas ao processo de desmonte variam de acordo com a falta de homogeneidade das propriedades das minas. Devendo ser adaptado de acordo com a realidade de cada pedreira com o intuito de melhores resultados, utilizando explosivos ou métodos empíricos. A escolha da utilização de explosivos também varia, pois à diferença de acordo com as características da mineradora.

De modo geral o engenheiro de minas necessita ter um conhecimento minucioso e se atualizar em relação às técnicas e tecnologias variáveis que são necessárias de acordo com a necessidade, e para obter a solução das problemáticas que surgem ao longo do tempo. Constantemente é preciso de aperfeiçoamento das técnicas de desmonte controlado para que deem resultados cada vez mais satisfatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

CHISTOFOLLETTI, C. **Correlação entre as classificações geomecânicas RMR e Q e sua relevância geológica**. 2014. 310 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

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

DAER-RS - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. IS-102/94: **Instrução de serviço para estudo de pedreiras**.

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

FERREIRA, R. Detalhes de execução do serviço de desmonte de rocha a frio. PINI: **Construção e Mercado**.

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

GERMANY, Darcy José. A mineração no Brasil. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Secretaria Técnica do Fundo Setorial Minera**. CT Mineral. Rio de Janeiro, 2002.

GIL, Rodrigo. **Avaliação da expansão do complexo de Carajás através da teoria de opções reais**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2005.

IBRAM – **Instituto Brasileiro de Mineração. Informações e análises da economia mineral Brasileira**. 7. ed., 2014.

IBRAM. – **Instituto Brasileiro de Mineração**. Seminário: Novos desafios da Pesquisa, Política e Economia Mineral 2018.

IRAMINA, Wilson Siguemasa. **Desmonte de rocha e controle ambiental**. 1997. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1997.

LA SERNA, H. A.; REZENDE, M. M. **Agregados Para a Construção Civil**. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2013.

NIEBLE, Carlos Manoel. **Desmontes cuidadosos com explosivos: aspectos de engenharia e ambientais**. Oficina de Textos, 2017.

OLIVEIRA, A. M. S.; Geologia de engenharia. Editora Abge, 1998.

PEREIRA, R. C; SANTOS, M. B. G. Gerenciamento de riscos nas atividades de desmonte de rochas com explosivos. XXXVI Encontro Nacional De Engenharia De Produção, João Pessoa/PB, 2016.

PONTES, J. C. **Impactos ambientais decorrentes do uso de substâncias explosivas em pedreira de granito de Caicó-RN**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2016. Paraná, 2016.

SHEWHART, Walter A. **Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control**. Washington: Department of Agriculture, 1939.

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

SILVA, V. C., **Apostila do Curso de Desmonte de Rochas**. Escola de Minas. Ouro Preto, p. 172. 2014.

SILVA, V. C., Curso de min 210. **Operações mineiras**. Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas, 2009.

SIQUEIRA, Jarley Deylon. **Desmonte controlado e suas variáveis**. 2010.

STEFANI, Pedro Henrique. **Carga explosiva: desmonte de rochas à céu aberto**. Engenharia Civil-Pedra Branca, 2019.

THE NOBEL PRIZE. **Alfred Nobel's life**. Nobel Media AB, 2019.

DE FREITAS, Márcia Eliane Pereira; MORAIS, Douglas Souza. **Comparação da eficiência entre os explosivos emulsão bombeada e anfo no processo de desmonte de rochas**: Um estudo de caso. HUMANIDADES E TECNOLOGIA (FINOM), v. 22, n. 1, p. 349-367, 2020.

MENDES, M. L. Curso de Desmonte de Rochas por Explosivos-Formação de Blaster. **Minas Gerais:[sn]**, 2015.