

COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE OS EXPLOSIVOS EMULSÃO BOMBEADA E ANFO NO PROCESSO DE DESMONTE DE ROCHAS: Um estudo de caso

Márcia Eliane Pereira de Freitas¹
Douglas Souza Morais²

349

Resumo: No período contemporâneo o Brasil vem passando por um momento de grandes dificuldades em várias partes econômicas, e a exploração mineral também compõe esse complexo contexto. No processo de extração mineral considera-se como uma de suas etapas principais o desmonte de corpos rochosos realizado empregando explosivos. O desmonte é responsável em média por 20% do custo unitário da produção; são muitos os fatores determinantes ditados através das condições existentes de campo e por considerações econômicas para a escolha de qual é o melhor explosivo a ser aplicado. A principal finalidade do estudo desenvolvido é identificar os privilégios técnicos do uso da emulsão bombeada em comparação ao granulado ANFO, e qual proporciona maior custo benefício durante o desmonte de corpos rochosos realizado com explosivos. A presente pesquisa apresentou resultados significativos na comparação da eficiência do uso da emulsão bombeada em relação ao granulado ANFO, suas aplicabilidades e apontou melhor custo-benefício nos processos de detonações dos corpos rochosos, em uma empresa mineradora de metais, localizada na região Sul do estado de Minas Gerais.

Palavras-chave: Emulsão bombeada. Granulado ANFO. Desmonte de corpos rochosos.

Abstract: In contemporary period the Brazil has been passing for a moment of big difficulties on both economical sides, and the mineral exploration also integrate in this complex scenario. In the mineral exploration process, it's been considered as the main step of disassemble of rocky bodies by using of explosives. The dismantling is responsible on average for 20% of the unit cost of production; there are many determining factors dictated by the existing field conditions and economic considerations for choosing which is the best explosive to be applied. The main finality of development studies is to identify the technical privileges by using of emulsion pumped in comparison with ANFO granulated which one has bigger benefit-cost during the disassemble of rocky bodies done by explosives. This research has important results comparison of the using of emulsion pumped in relation of ANFO granulated its applicability's and pointed better benefit-cost in the detonation process of rocky bodies in the metal mine company located on South of Minas Gerais.

Keywords: Emulsion pumped. ANFO granulated. Drilling

¹ Graduada em Engenharia de Minas pela Faculdade do Noroeste de Minas – FINOM

² Doutor em Geologia pela Universidade Estadual de São Paulo – UNESP. Email. moraisds@yahoo.com.br

Recebido em 18/02/2020
Aprovado em 02/03/2020

1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade desenvolvida desde os primórdios da vida humana na Terra, tornando-se a cada dia de extrema importância e necessidade à sociedade contemporânea, não só devido sua relevância econômica, também em sua constante busca por tecnologias que proporcione aos seres humanos maior qualidade de vida. A extração mineral deriva-se sua lavra em três métodos de exploração: lavra subterrânea, lavra a céu aberto e em alguns casos a combinação desses dois métodos, variando seu perfil de acordo com as disposições e características do corpo mineral pesquisado, e das técnicas necessárias aplicadas à viabilização econômica da exploração. O desmonte de rochas é uma das principais etapas da exploração mineral, sendo responsável em média por cerca de 20% do custo unitário da produção. Em primeira instância torna-se necessário o uso de explosivos no desmonte de rochas para obtermos a fragmentação ideal para o britador, mas existem outros aspectos que são influenciados e devem serem levados em consideração durante toda a vida útil da mina, condicionantes para que seu processo de extração seja deferido: ruídos, formações de repé, produção de gases, vibrações dos terrenos, ultra lançamento dos fragmentos de rochas, sobre pressão atmosférica entre outros. O grau com que esses aspectos são avaliados varia de mina para mina, de acordo com suas características geológicas locais, sendo indispensáveis em alguns casos e não tão significantes em outros, mas a fragmentação será sempre um parâmetro determinante para o nível de eficiência do desmonte do corpo rochoso.

Desde meados dos anos 40 os explosivos vêm passando por uma progressiva desenvoltura tecnológica, simultaneamente à evolução do método de lavra, tendo como seu principal foco: maior segurança no manuseio e transporte, melhor fragmentação do corpo rochoso, maior resistência a existência de água, menor custo por unidade de rocha desmontada. A escolha adequada para qual explosivo será aplicado torna-se uma das partes mais minuciosas no projeto de desmonte da formação rochosa, pois são muitos os fatores determinantes sendo ditados através das condições existentes de campos e por considerações econômicas (SILVA, 2009).

O explosivo ao passar dos anos vem sofrendo modificações até se tornar indispensável na indústria mineira e na construção civil, devido ao fato de tratar-se do primeiro passo de cominuição e fragmentação do corpo rochoso, os explosivos veem sendo alterados para uma melhor adaptação as condições da geologia local e a cada material que será empregado no

decorrer do campo. Com isso o mercado fornecedor identificou a necessidade de lançar explosivos com maior eficiência, melhor resistência a água, maior quantidade de energia liberada na detonação entre outros. As emulsões são a última tecnologia lançada no mercado, elas recebem classificação como agentes explosivos, pois necessitam de um acessório para que sua detonação seja efetuada; apresentam inúmeras vantagens em sua aplicação e tem ganhando destacado espaço principalmente na indústria mineira ao decorrer dos últimos anos, porém ainda existe um impecílio para algumas empresas de pequeno porte, por apresentar um custo de aplicação elevado em comparação aos outros explosivos.

O objetivo principal é identificar a eficiência técnica e financeira da aplicação da emulsão bombeada quando relacionada ao ANFO no desmonte de corpos rochosos com explosivos, por meio de um estudo de caso em uma empresa mineradora de metais localizada no Sul de Minas Gerais. Os objetivos secundários seriam: fazer a avaliação da eficácia do uso dos explosivos emulsão bombeada e ANFO no desmonte de um corpo rochoso; elaborar um banco de compilamento de dados para avaliação dos custo-benefício da aplicação da emulsão bombeada em relação ao ANFO e das viabilidades efetivamente comprovadas.

2. Desmonte de rochas

Desmonte de Rochas denomina-se como um complexo de atividades utilizadas para promover à fragmentação de um determinado volume de rocha pertencente ao maciço; o qual pode apresenta-se dividido em quatro grupos de consideráveis proporções: desmonte com explosivo, mecânico, hidráulico, manual (GAMA, 2003).

Desmonte de rochas com explosivos: realizado por meio da dispersão de gases ocorrida no interior dos furos das bancadas após a combustão do explosivo; desmonte de rochas mecânico: realizado por meio de equipamentos mecânico que promovem a fragmentação das rochas; desmonte de rochas hidráulico: por meio de jato de água e desmonte de rocha manual por força humana.

Simultaneamente ao aperfeiçoamento dos métodos de lavra, os explosivos a partir da década de 1940 veem passando por uma complexa evolução tecnológica, buscando atingir uma maior otimização dos resultados focando em: maior segurança no manuseio, maior resistência a água, melhor fragmentação das rochas, menor custo por unidade de rocha desmontada (BRITANITE, 2009).

2.1 Objetivos do desmonte de rochas com explosivos

O desmonte de rochas tem como sua principal característica a Fragmentação e distribuição granulométrica do maciço rochoso adequadas, permitindo o carregamento, transporte, manuseio e beneficiamento eficientes e apropriados. Fazendo com que adquiram forma adequada, evitando literalmente os excessos de finos ou formação de blocos muito grandes; Composição da pilha de minério desmontado; Danos de mínima proporção ao maciço remanescente; Redução drástica dos impactos ambientais; otimizar os custos, inclusive os das etapas subsequentes (IRAMINA, 2015).

2.1.1 Definição de explosivos

Explosivos são substâncias, ou mistura de substâncias químicas, que apresentam como suas características ao serem iniciadas corretamente, a transformação química, violenta e muito rápida das partículas, transformando-se em gases, propiciando a libertação de enormes quantidades energéticas em um micro espaço de tempo, esta energia é aplicada para efetuar a fragmentação da massa de rocha no sentido da face livre ou que apresente menor resistência, o volume alcançado pelo explosivo pode atingir cerca de 18.000 vezes o seu volume inicial, a onda de choque que é transferida para a rocha atinge uma velocidade intrínseca entre 3000 m/s e 5000m/s. Desta forma a onda de choque ao atingir a frente livre da bancada do corpo mineral, tende a provocar no maciço um efeito semelhante ao que acontece com as bolas de bilhar ao atingir-se a primeira o choque transfere-se por todas, sem que as mesmas se movam da posição onde apenas a última da outra extremidade é projetada para frente (Britanite, 2009).

Segundo Silva (2001), explosivos são substâncias ou misturas, encontrados em qualquer estado físico, que ao serem expostos a uma condição térmica ou mecânica adequadamente energética (calor, atrito, impacto etc.) transformam-se parcial ou totalmente, em gases, em um mínimo intervalo de tempo, liberando uma significativa quantidade de calor.

2.1.2 Classificação dos explosivos

Os Explosivos com altas velocidades de detonação possuem a capacidade de gerar grandes quantidades de gases que junto a onda de choque gerada possibilita o fissuramento da rocha. Segundo Ricardo e Catalani (2007) são basicamente classificados em três categorias:

- **Explosivos iniciadores ou Agentes detonantes:**

Altamente sensíveis, apropriados a detonação da massa de explosivos da perfuração. Causam uma impressão de sopro intenso, ou uma propagação de uma onda de choque com capacidade para dar início a detonação da massa constituída pelos explosivos, mas são insuficientes para promover o processo de fragmentação da rocha, são considerados como acessórios de detonação e denominados explosivos primários.

- **Altos Explosivos:** sua velocidade de detonação varia de 2.500 a 7.500m/s, seguidos por grande quantidade de gases a pressões muito elevadas. A partir da detonação origina-se a concepção de uma onda de choque que se propaga por todo o maciço rochoso, provocando fissuras nas rochas. Ao aliar a onda de choque aos gases desprendidos na explosão submetidos a alta pressão provoca a fragmentação da rocha empurrando-a em direção a face livre, recebem também a denominação de explosivos secundários.

- **Baixos Explosivos:** Sua detonação consiste em uma queima veloz sem a propagação de onda de choque significativa, dentre os baixos explosivos conhecidos, a pólvora negra é a única que tem alguma significância, que nos dias atuais ainda é utilizada para o corte de blocos das rochas denominadas industriais (blocos de mármore, paralelepípedos entre outros).

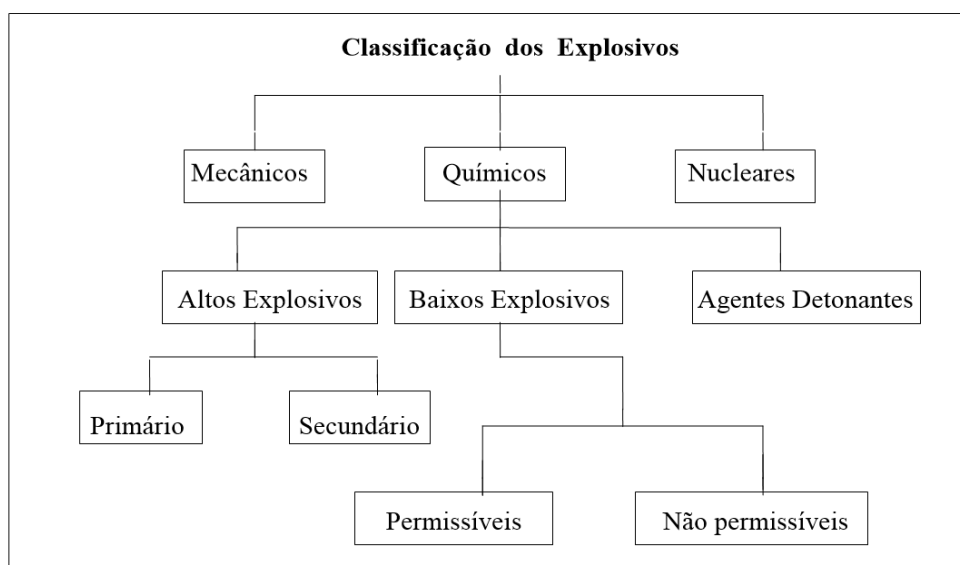


Figura 1: Classificação dos explosivos
Fonte: Silva (2001).

2.2 PROPRIEDADES DOS EXPLOSIVOS

As propriedades dos explosivos referem-se às características que eles apresentam em sua composição, sendo recomendado ou não para determinada aplicação, de fundamental importância observar as propriedades e realizar uma escolha baseada nos critérios. Os explosivos empregados nos desmontes de rocha apresentam as seguintes Propriedades: força, velocidade, resistência à água, segurança ao manuseio, densidade, sensibilidade, volume de gases, gases tóxicos (RICARDO E CATALANI, 2007).

2.2.1 Força

Equivale a porção de energia liberada no momento da detonação, traduzindo-se na capacidade encontrada pelo explosivo em produzir trabalho na etapa da fragmentação da rocha (RICARDO E CATALANI, 2007).

2.2.2 Velocidade e pressão de detonação

A velocidade de detonação de um explosivo relaciona-se como o índice de maior importância do referido, partindo do princípio de que a pressão de detonação do mesmo é diretamente proporcional ao quadrado da velocidade de detonação. Se a pressão gerada no furo no momento da detonação não for superior a resistência dinâmica corpo rochoso, o mesmo não apresentará a fragmentação desejada e a energia não utilizada na etapa de fragmentação e deslocamento do corpo rochoso, será propagada no terreno sob forma de vibração (SILVA, 2007).

Ricardo e Catalani (2007), descrevem ainda que a velocidade de detonação se refere à velocidade que a reação se propaga pela coluna do explosivo, a qual está relacionada ao grau de confinamento do explosivo e à variação do diâmetro do furo, a densidade, tipo de iniciação ou composição química são também fatores determinantes da velocidade da reação de combustão.

2.2.3 Resistência à água

A resistência do explosivo à água é uma variável de importância significativa no processo de desmonte do maciço rochoso, pois encontra-se com grande frequência concentração de água nas perfurações. Mede-se tal resistência por meio do número de horas em que o explosivo foi submetido a submersão em água, e mesmo assim não altera seus princípios de iniciação sendo efetuado com mesma eficiência, fragmentando completamente a rocha em questão, por meio do auxílio de uma espoleta de nº. 6", desta forma podemos

ressaltar ainda a resistência dos explosivos a água: Nenhuma pertencente as classes 6 e 7; boa pertencente as classes 3, 4 e 5; e muito boa pertencentes as classes 1 e 2. (RICARDO; CATALANI, 2007).

Classe	Horas
1	Indefinido
2	32-71
3	16-31
4	8-15
5	4-7
6	1-3
7	Menos do que 1

Tabela 1: Classificação da resistência à água dos explosivos
Fonte: Britanite (2005).

2.2.3 Segurança no manuseio

O explosivo percorre por diversas etapas até que seja efetivada a detonação, onde as principais delas são: transporte, armazenamento, aplicação entre outras. No decorrer dessas etapas de diferentes situações as mesmas impõem enorme necessidade de segurança, tornando-se máxima prioridade no manuseio de explosivos, a partir do momento em que sua fabricação é concluída até sua aplicação efetiva, devido provocar um risco imensurável. Por meio destes, foram elaboradas normas e procedimentos ideais para o manuseio de explosivos,

2.2.4 Densidade

É a relação existente entre massa e volume de determinado explosivo representado pela unidade de medida g/cm^3 . Os explosivos industriais apresentam três distintas densidades, sendo elas: Densidade crítica - limite inferior e superior da densidade, caso o explosivo apresente uma densidade fora desses limites seus princípios são ignorados no momento da detonação; Densidade de massa é muito próxima a do cartucho é utilizada para classificar se o explosivo está nos padrões requisitados é a densidade apresentada nos catálogos, se a densidade do explosivo for inferior a 1 g/cm^3 o explosivo irá submergir em água, se for superior a 1 g/cm^3 irá submergir em água, e Densidade de carregamento ou efetiva- relação existente entre a massa de explosivo presente no furo e o volume do furo devidamente preenchido pela mesma, (RICARDO E CATALANI, 2007).

2.2.5 Sensibilidade

Segundo o manual de explosivos Britanite Sensibilidade nada mais é que uma medida da facilidade encontrada por um explosivo para que esse possa vir a ser detonado.

Um explosivo de sensibilidade à propagação de 1cm é mais sensível que um de 3 cm (RICARDO e CATALANI, 2007).

2.2.6 Volume de gases

Por meio de detonação de explosivos, gera-se gases, O volume gasoso gerado encontra-se diretamente implicado aos fatores de temperatura e pressão de detonação do explosivo. Levando em consideração a expansão dos mesmos, os explosivos são regularmente classificados como de baixa expansão atingindo no máximo 800 l/kg e de alta expansão ultrapassando os 800l/kg (RICARDO e CATALANI 2007). Observa-se também alguns outros fatores influenciando à propagação desses gases durante o momento da detonação dos explosivos, são eles: iniciação inadequada, pouco grau de confinamento, reação incompleta, baixa resistência à água e a utilização de espaçadores de madeira e adornos (ALVES, 2005).

2.2.7 Gases tóxicos

Os Gases gerados pela detonação dos explosivos podem apresentar-se tóxicos e provocar na equipe responsável pelo desmonte várias reações como: dores de cabeça, náuseas entre outras. Isso mais implicitamente nas detonações ocorridas no subsolo do que nas minas à céu aberto (RICARDO e CATALANI, 2007).

Os explosivos recebem classificação também relacionadas a emissão dos gases tóxicos vejamos a tabela 2:

Categoria	Classe	Gás tóxico emitido
A	1 (poucos gases tóxicos)	Até 22,6 L/KG
B	2 (Quantidade elevada de gases tóxicos)	De 22,6 L/KG a 46,7 L/KG
C	3 (Quantidade elevada de gases tóxicos)	De 46,7 L/KG a 94,8 L/KG

Tabela 2: Classificação dos explosivos quanto a emissão de gases tóxicos.

Fonte: Ricardo e Catalani (2007).

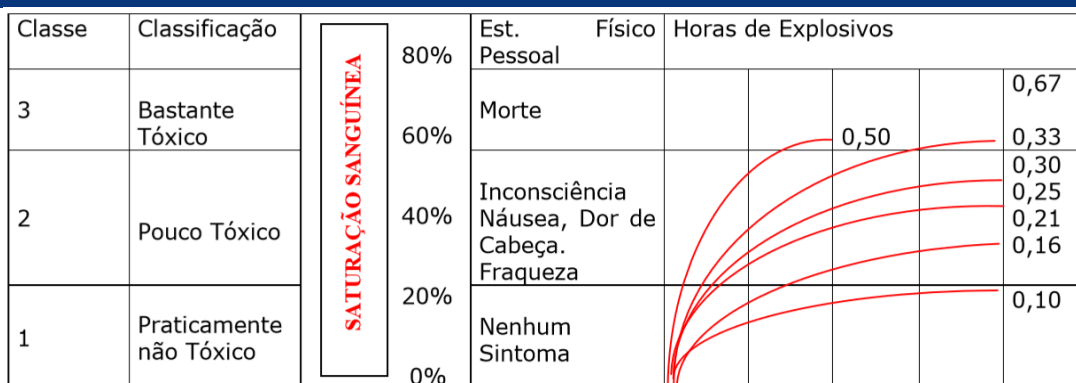


Figura 2: Saturação sanguínea na presença de gases.
Fonte: Britanite (2009)

2.3 TIPOS DE EXPLOSIVOS

Encontramos variados tipos de explosivos sendo os principais em ordem cronológica de desenvolvimento: pólvora negra, produzida e classificada em pólvora do tipo A, composta por nitrato de potássio, enxofre e carvão vegetal; e a pólvora do Tipo B, constituída de nitrato de sódio, enxofre e carvão vegetal, respectivamente utilizadas para corte de rochas e detonação de argilas e folhelhos; os semi-gelatinosos, que apresentam consistência semiplástica variando sua densidade de 1 a 1,3/cm³; os gelatinosos, que apresentam consistência plástica permitindo uma boa acomodação no interior dos furos; os ANFOS, explosivos compostos quase exclusivamente por nitrato de amônia que por sua vez é amplamente aplicado em fertilizações agrícolas; os granulados, que têm os carbonitratos como explosivo básico e exigem sensibilização por um alto explosivo para que a detonação seja efetuada além de possuírem baixa densidade e não oferecerem nenhuma resistência a água, adequados quando temos carregamentos pneumático dos furos; lamas explosivas, apresenta consistência de uma pasta fluida sensibilizada por nitroglicerina tendo como característica principal a presença de água em sua composição, detém elevada densidade, por meio do total preenchimento do furo apresenta uma razão linear alta, permitindo o maior aproveitamento da energia liberada; pastas, muito parecidas com as lamas explosivas, porém não é sensibilizada por nitroglicerina e seu efeito de desmonte é ampliado por meio de incremento de partículas metálicas extremamente finas atuando na maximização de energia liberada; e emulsões, explosivos desenvolvidos para que por meio de sua consistência torne mais fácil o carregamento dos furos com diversas variáveis de inclinações e variados níveis hidrostáticos (RICARDO E CATALANI, 2007).

2.3.1 ANFO

O ANFO é um explosivo granulado universalmente conhecido, sigla em inglês que significa Nitrato de Amônio + Óleo Combustível (Diesel). A sua proporção ótima para mistura pura e simples é 94,5 % de nitrato de amônio a 5,5 % de óleo diesel, em peso. As vantagens da utilização do ANFO são: Ocupar por inteiro o volume do furo, altamente insensível ao choque, reduzida produção de gases tóxicos e minimização do custo dos explosivos (SILVA, BRUNO e MARQUES, 2004).



Figura 3: Amostra de ANFO
Fonte: Britanite (2009)

2.3.2 Emulsão

As emulsões são consideradas as mais novas tecnologias de explosivos encontradas no mercado, compostas por massas explosivas à base de uma solução de nitratos de amônio e de sódio + água, emulsificados por óleos especiais. Por não possuírem altos explosivos em sua fórmula, a detonação só ocorre por meio da ação de minúsculas bolhas de ar presentes na massa. Suas vantagens são: maximização da segurança, devido a detonação só ser processada com onda de choque acima de 3 vezes a velocidade sônica; alta velocidade de detonação, excelência na fragmentação das rochas de maior resistência; utilização com iniciadores de explosivos menos sensíveis; não provocam efeitos fisiológicos; oferecem excelente resistência à água por meio da grande facilidade de acomodar-se ao furo, propiciam excelente densidade de carregamento, altamente bobeáveis e mesmo em condições extremas de presença de águas no interior dos furos a performance do desmonte permanece elevada. Há alguns anos as mineradoras que fazem o uso de alta quantidade de explosivos por detonação, optam em fazer o carregamento dos furos por meio de unidades móveis de bombeamento e/ou de caminhões tanque que aplicam a emulsão diretamente no interior dos furos, onde o material transportado pelos caminhões só é sensibilizado no momento da aplicação nos furos, possibilitando sua liberação para tráfego e armazenagem. (Silva, Bruno e Marques 2004).

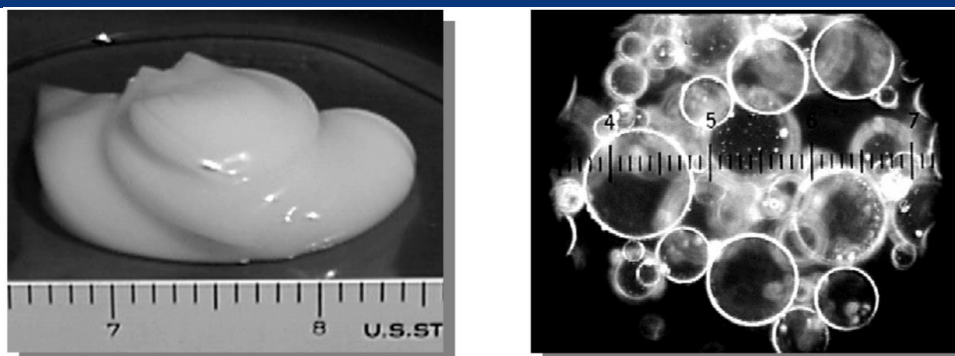


Figura 4: Amostra de Emulsão
Fonte: Britanite (2009)

2.3.3 Comparação da composição do ANFO X Emulsão

Produtos	Ingredientes % em peso				TOTAL %
	Nitrato de amônio	Água	Óleo Diesel	Oleato de sódio ou monoleato de ezorbitol	
ANFO	94,50	0,00	5,50	0,00	100
Emulsão	77,30	16,70	4,90	1,10	100

Figura 5: Comparação da composição entre ANFO e Emulsão.
Fonte: Silva (2009)

A composição da Emulsão diferencia-se à do ANFO, devido a necessidade da adição de água e de um ag'ente emulsificante, ajudando na separação estável de um líquido não misturável em outro, por meio de alta agitação mecânica (SILVA, 2009). Desta forma, os emulsificantes ajudam na separação do óleo em uma matriz aquosa, por meio de micro gotículas, sem que ocorra sua separação em seguida (RICARDO E CATALANI, 2007).

Essa emulsão torna-se explosiva só a partir do momento em que há a adesão de um sensibilizante, capacitando-a, a auto sustentar a detonação após sua iniciação, recomenda-se o uso de um acessório de detonação (booster) com o diâmetro aproximado ao diâmetro da perfuração, para obtenção do máximo rendimento no momento em que se inicia a detonação. Quando for efetuado o carregamento de furos em rochas fraturadas a atenção deverá ser máxima, devido ao fato de poder ocorrer o escapamento do material, desta forma pode acarretar no comprometimento, da eficiência do explosivo, na existência de fragmentos no fundo do furo, não permitindo o carregamento da subfuração, conseqüentemente gerando repés, e até mesmo, na segurança da operação (SILVA, 2009).

Porção superior da perfuração, não carregada com carga explosiva, pois essa carga seria superficial resultando em lançamentos de lascas, provenientes das rochas através da boca da perfuração, deve ser preenchido por matérias granular ou pedriscos. A profundidade do tampão é recomendada a ser igual ao afastamento (GERALDI, 2011).

2.4 CONSUMO DE EXPLOSIVOS

Determina-se o consumo dos explosivos através da razão de carregamento das perfurações, é a quantidade de explosivos que será demandada por tonelada ou metro cúbico de rochas desmontadas no momento de uma detonação, devendo levar em consideração a quantidade real de explosivo que será dispersado no interior da perfuração. Essa quantidade é embasada nas demais informações e considerando o tipo de explosivo que será utilizado (GERALDI, 2011).

360

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Para conclusão dos testes foi efetuada uma pesquisa de campo em uma empresa multinacional mineradora de metais. A empresa foco do estudo localiza-se na cidade de Santa Bárbara ao Sul do estado de Minas Gerais. O corpo rochoso da mineradora é composto por Filito Carbonoso e sua densidade é de aproximadamente 2,7 gramas por centímetros cúbicos (g/cm^3).

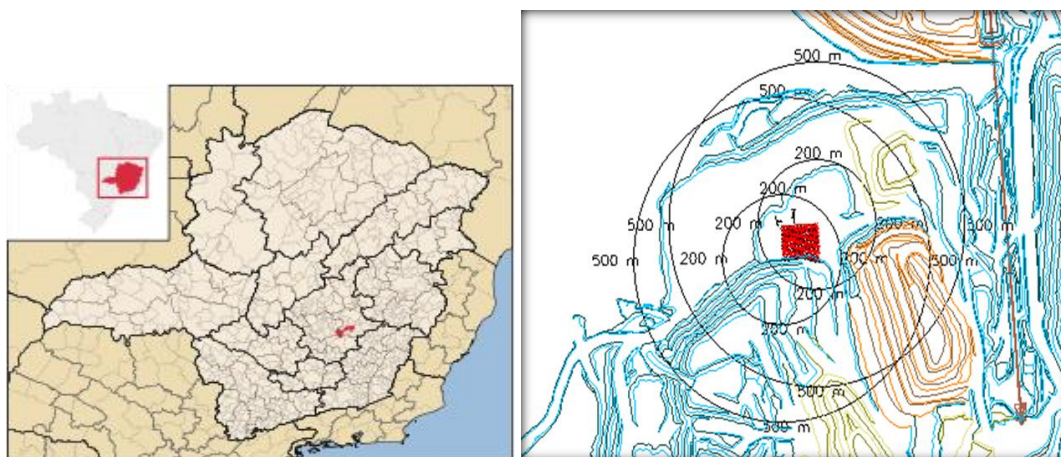


Figura 6: Localização da cidade da mineradora e da bancada a ser desmontada
Fonte: Autor(a)

O presente artigo teve como intuito demonstrar os resultados adquiridos em uma mineradora de metais comparando a eficiência do uso da Emulsão bombeada com a do

granulado ANFO durante o desmonte de rocha. Com finalidade de otimizar o custo-benefício durante o processo de desmonte. Uma empresa terceirizada é responsável pela execução do processo de fogo, os quais fizeram parte dos testes.

A avaliação foi feita por meio de 21e fogos efetivados durante um mês, sendo um fogo por dia, realizado de segunda a sexta-feira, pela empresa contratada acompanhada pela contratante. As atividades realizadas estão descritas abaixo:

Armazenamento dos explosivos

Por meio dos dados adquiridos durante a pesquisa de campo o armazenamento dos explosivos na empresa, acontece através de regulamentações estipuladas pelas Normas Reguladoras e legislação vigente, assegurando, a saúde e segurança dos profissionais que manuseiam esses explosivos, os paióis são os locais em que estes são armazenados, atendendo as normas do Ministério do Exército, que ditam que o ANFO deverá ser armazenado em paióis específicos, já no caso das emulsões, sua armazenagem é permitida em bases próximas a mina, devido a emulsão ser apenas um agente explosivo, sendo dependente da mistura de nitrato de sódio para classificar-se como explosivo (GERALDI, 2011).



Figura 7: Paiol do granulado ANFO (esquerda) e paiol de Emulsão bombeada (direita)
Fonte: Orica (2016)

Transporte dos explosivos para as frentes de carregamento e carregamento das perfurações

A Empresa segue as regulamentações exigidas pelas Normas Regulamentadoras e legislação vigente, que dissertam que para efetivar o transporte do explosivo até a frente de lavra, utiliza-se um veículo apropriado com placas, giroflex e caixas planejadas para o transporte dos explosivos (SILVA, 2007). Nota-se que a emulsão apresenta vantagem de ser

transportada pelo próprio equipamento, carregando diretamente as perfurações, e o ANFO necessita, além do veículo apropriado, geralmente de duas viagens, e mais de uma pessoa para seu efetivo carregamento.

Durante o estudo de caso observando a comparação entre os carregamentos com emulsão e com ANFO, os dois são muito simples, no entanto durante a aplicação da Emulsão emprega-se apenas um meio para transporte, carregamento e injeção nas perfurações, minimizando ao máximo o número de trabalhadores em contato com os explosivos, além do caminhão abastecer por gravidade (queda livre). Considerando o acima descrito a contratada da empresa pesquisada detém um ganho significativo com tempo em que se leva para abastecer o caminhão, e na redução do número de pessoal e equipamentos.

Características do carregamento com emulsão

O presente estudo de caso, objetivou-se em desenvolver o levantamento de dados para uma proposta de troca do explosivo granulado ANFO para o explosivo emulsão bombeada. Durante os dias de testes foram observados os seguintes aspectos: segurança no manuseio e aplicação do explosivo; redução do número de furos com mesma eficiência no volume de rocha desmontado; redução de custos; resistência a água. Os testes foram iniciados no dia 01/07/2015 e finalizados no dia 31/07/2015. Os desmontes foram realizados em diferentes pontos da mina, nos quais foram executadas as medições e retirados os dados necessários depois das detonações. Para a conclusão da análise, fez-se o uso de dados obtidos no período de 01/06/2015 a 30/06/2015. Por meio do que foi acima citado, foram recolhidos dados para comprovação da eficácia sobre o uso da emulsão relacionada ao ANFO, tirando dúvidas e levantando sugestões.

Transformação da emulsão em explosivos e cálculo da sua densidade.

De acordo com o descrito acima e com o andamento das operações da empresa pesquisada no dia-a-dia, a emulsão não é um explosivo, até que passe por uma bomba de nitrato de sódio, na qual é adicionado o produto, transformando-a em explosivo. Vejamos a figura a seguir:



Figura 8: Bomba por onde adiciona-se o explosivo à perfuração.
Fonte: Orica (2016)

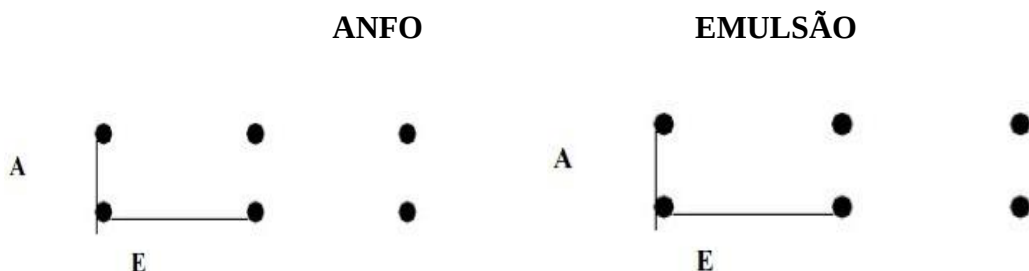
Embasado no escrito anteriormente a densidade é a relação entre a massa e volume de um determinado explosivo, representada por gramas por centímetros cúbicos (g/cm^3). A imagem abaixo caracteriza o recolhimento da emulsão para efetuar os cálculos da sua densidade.



Figura 9: Coleta e pesagem da Emulsão
Fonte: Orica (2015)

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao efetuar o desmonte de rochas, quando no mesmo foi substituído o explosivo ANFO por Emulsão, verifica-se que há a possibilidade do aumento da malha de perfuração, diminuindo gradativamente o número de furos, mantendo a eficiência na fragmentação do maciço rochoso.



Afastamento (A) = 4,15m; Espaçamento (E) = 4,8m Afastamento (A) = 4,8m; Espaçamento (E) = 5,5m

A malha de fogo usando a emulsão apresenta um aumento na abertura de 33% quando comparada a malha de fogo utilizando o ANFO.

Diante dos 21 fogos realizados no decorrer do mês de Julho de 2015 na mineradora com o uso da emulsão, nota-se que a injeção da mesma seja ideal para atender as necessidades de fragmentação do corpo rochoso, junto aos critérios e técnicas apresentados, e com a análise criteriosa das variáveis pertencentes ao plano de fogo, obtém-se ótimos resultados, principalmente na relação custo-benefício.

Tem-se como resultados, a maximização da liberação de energia no interior dos furos, promovendo assim uma melhor fragmentação dos corpos rochosos e desta forma o espaçamento e afastamento entre furos aumentam, tornando a malha de detonação mais aberta diminuindo significativamente o número de perfurações necessárias para o desmonte de uma mesma porção de rochas. Podemos citar ainda, outros benefícios do uso da emulsão que a torna mais aplicável, como sua excelência em impermeabilidade, ser mais segura, produzir menor vibração no terreno devido sua malha ser mais aberta entre outros. A seguir nas figuras 10, 11 e 12 os gráficos e os seus resultados.

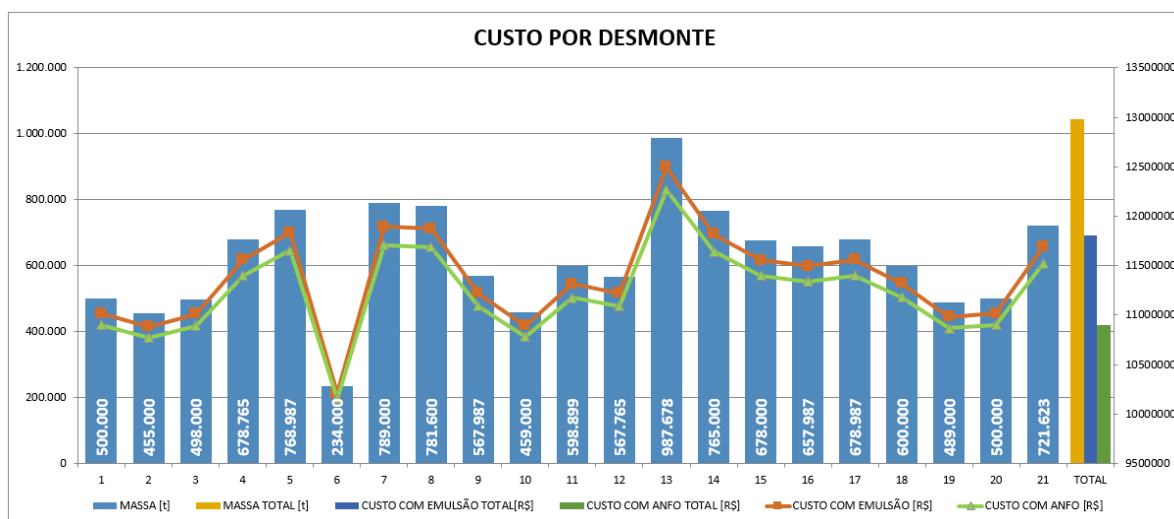


Figura 10: Custo com desmonte
Fonte: Os autores

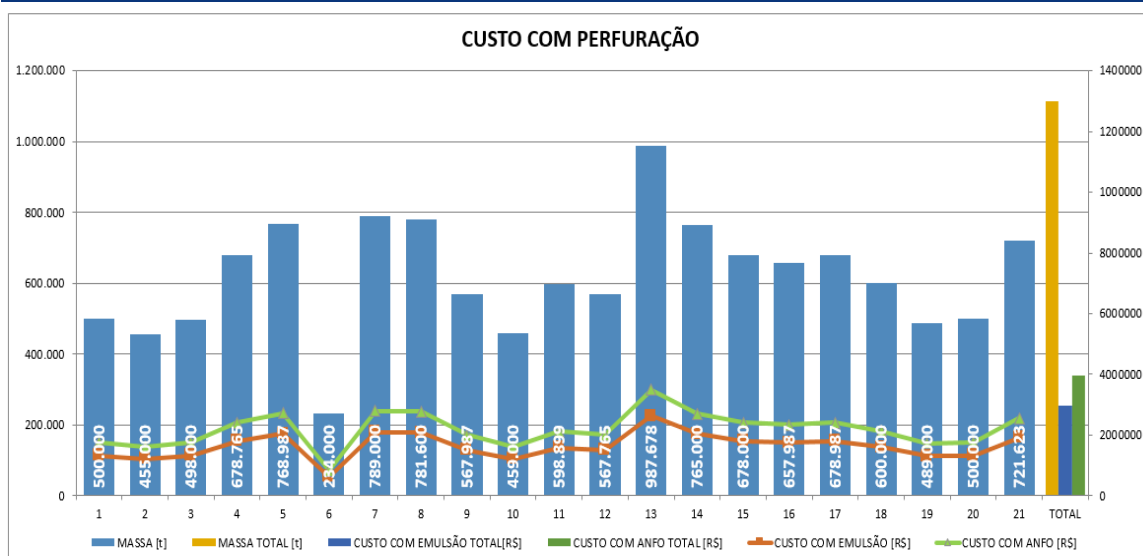


Figura 11: Custo com perfuração
Fonte: Os autores

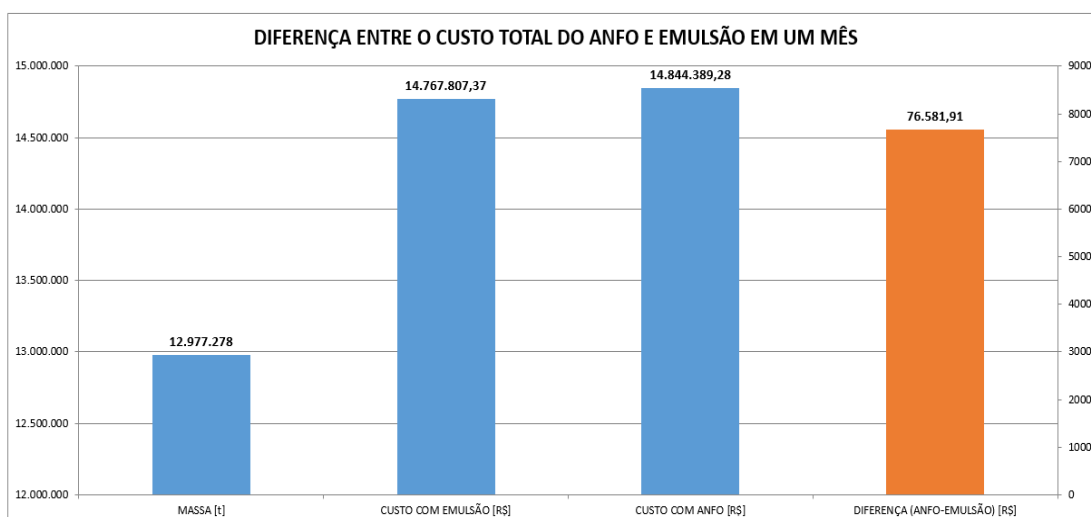


Figura 12: Custo com os fogos em um mês
Fonte: Os autores

Quando analisado apenas o 1º gráfico (figura 10) isoladamente, verifica-se que nesse processo, o desmonte com ANFO seria o ideal, mais viável economicamente. Em seguida faz-se a análise do 2º gráfico (figura 11) este apresenta a emulsão como o explosivo mais viável economicamente, então gerou-se um 3º gráfico (figura 12), e fez-se a soma de todos valores gastos no fogo com o ANFO e com a Emulsão, por meio deste foi possível identificar que ao somar os valores dos dois processos, a emulsão gera uma economia de R\$ 76.581,91 mensal.

Além de proporcionar significativa economia, ao compararmos a emulsão e o ANFO observamos que a emulsão é um agente explosivo impermeável, está localizada na classe 1 da tabela de impermeabilidade suportando ficar em submersão até 72h sem que comprometa sua

composição e sua eficiência, enquanto o ANFO encontra-se na classe 7 não suportando nem uma hora nas mesmas condições; a emulsão tem uma densidade de aproximadamente $1,15 \text{ g/cm}^3$ fator importantíssimo, o qual favorece a produção quando é necessário efetuar o carregamento de furos com presença de água seja ela pluvial, ou advinda de lençóis freáticos, pois devido sua densidade ser maior que a da água 1 cm^3 , a própria ao ser bombeada para o furo expulsa essa água preenchendo-o completamente, inclusive se houver alguma rocha faturada a emulsão a preencherá completamente, além de não afetar no desempenho do desmonte pois não é necessário interromper as atividades; enquanto o ANFO apresenta uma densidade de $0,86 \text{ g/cm}^3$ muito inferior à da água e para ser utilizados nas mesmas condições é necessário realizar o bombeamento de toda água presente nos furos e promove o “encamisamento” dos mesmos, gerando novos gastos, e em alguns casos, perde-se também em produção, pois se não tiver como efetuar o processo anteriormente citado os furos terão que secar por si, e durante esse tempo para-se o setor de desmonte.

Quando é transportada a emulsão apresenta grande vantagem sob o ANFO, devido a mesma ser apenas um agente explosivo e só se torna explosivo ao estar no interior do furo quando há a adição de nitrito de sódio. Também em seu manuseio e carregamento apresenta características mais favoráveis, porque necessita-se apenas de um operador para efetuar o manuseio e um caminhão transportador para fazer o carregamento do mesmo que geralmente é efetuado por gravidade, e o ANFO necessita de dois caminhões para efetuar o carregamento dos furos e necessariamente serão dois operadores, o armazenamento da Emulsão pode ser feito em bases próximas a mina facilitando o acesso ganhando tempo no transporte e reduzindo o gasto de combustíveis, e o ANFO precisa ser locado em paíóis com uma maior distância da mina.

Em relação aos gases produzidos pela emulsão também são de fatores significativamente menores que os produzidos pelo ANFO, encontra-se na categoria A classe 1 praticamente não tóxico emitindo no máximo $22,6 \text{ L/KM}$, e o ANFO encontra-se na categoria C Classe1 quantidade elevada de gases tóxicos emitindo de $46,7 \text{ L/Kg}$ até $96,2 \text{ L/Kg}$.

6 - CONCLUSÃO

De acordo com o referencial teórico, a partir das opiniões de vários autores a emulsão, apresenta maior vantagem que o ANFO nos aspectos de vibração, impermeabilidade,

manuseio, transporte, carregamento, armazenamento entre outros. Muitas empresas de menor porte utilizam o ANFO, devido seu valor de compra ser bastante inferior ao valor da emulsão.

Ao tratarmos dos resultados encontrados durante o estudo de caso, é necessário destacarmos que os testes promovidos no mês de julho com a Emulsão bombeada, quando comparados com os feitos no mês de junho com o ANFO, gerou uma economia de R\$76.581,91, garantido uma economia anual de mais de R\$900.000,00, além de não precisar de gastos adicionais com o bombeamento de água dos furos, e nem de parar a produção em dias de chuva ou caso atinja um lençol freático. Podemos dizer então que este estudo de caso, atingiu os desafios propostos, esclarecendo que o uso da emulsão nesta empresa, permite a maximização das vantagens em sua aplicação quando comparada ao ANFO.

REFERÊNCIAS

ALVES, O. S. **Noções Básicas de Aplicação de Explosivos nas Escavações Céu Aberto**. São Paulo: RocDrill, 2005.

AMARAL, A. J. R. do.; LIMA FILHO, C. A. **Mineração**. Disponível em: <<http://www.dnpm-pe.gov.br/Geologia/Mineracao.php>>. Acesso em: 18 out 2016.

AUXILIADORA, M. A **Mineração no Período Colonial**. Disponível em: <<http://www.coladaweb.com/historia-do-brasil/a-mineracao-no-brasil-colonial>>. Acesso em: 5 out 2015.

BRITANITE. **Manual básico de utilização de explosivos**. IBQ. 2009.

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

GERALDI, J. L. P. **O ABC das escavações de rochas**. Rio de Janeiro: Inter-ciência, 2011.

GERMANI, D. J. **A mineração no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora CT Mineral. 2002.

IRAMINA, W. S. **Introdução à engenharia aplicada à indústria mineral aula 3 – desmonte de rocha por explosivos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2015.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual prático de escavação: terraplanagem e escavação de rochas**. 3 ed. São Paulo: Pini, 2007.

SILVA, V. C. **Curso de Min 210 – Operações Mineiras**. Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da UFOP, 2007.