

## **ESTUDO DOS CUSTOS DO DESMONTE DE ROCHA POR EXPLOSIVOS PARA FINS DE UMA LAVRA MINERAL SUSTENTÁVEL**

PAULO HENRIQUE MORAIS DO NASCIMENTO<sup>1\*</sup>; VALDENILDO PEDRO DA SILVA<sup>2</sup>; LEANDRO DE LIMA MAIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Eng. De Minas, UAMG, UFCG, Campina Grande-PB, p.h\_morais@yahoo.com.br;

<sup>2</sup>Dr. Prof. Titular DIAREN, IFRN, Natal-RN, valdenildo.silva@ifrn.edu.br

<sup>3</sup>Mestrando em Eng. de Minas, UFPE, Recife-PE, engenheiroleandromaia@gmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** A atividade de desmonte de rocha com explosivos é uma etapa do ciclo de produção de extrema importância para o desenvolvimento de uma pedreira. No entanto, o desmonte de rocha, utilizando explosivos, tem resultado em problemas socioambientais que afetam a qualidade de vida das comunidades circunvizinhas. Por isso, o estudo em tela procurou analisar os custos da operação do desmonte de rocha, através da modificação de alguns parâmetros do plano de fogo da pedreira, com o objetivo de realizar uma lavra mineral sustentável. A pesquisa foi realizada na pedreira Campel Construções e Máquinas Pesadas Ltda, situada no município de Taipu-RN. Na sequência foram utilizados os seguintes procedimentos metodológicos: caracterização do empreendimento; análise do plano de fogo (A) atual da empresa e sugerido um novo plano de fogo (B). Os resultados mostraram que com o plano de fogo B, obteve-se maior eficiência no processo produtivo e diminuição dos problemas socioambientais, bem como, economia nos custos operacionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Redução de custos, desmonte de rochas, plano de fogo, pedreiras.

### **COST STUDY OF ROCK BLASTING USING EXPLOSIVES FOR A SUSTAINABLE MINING OPERATION**

**ABSTRACT:** The rock blasting activity is an extremely important step of the production cycle of a quarry development. However, rock blasting using explosives has resulted in socio-environmental problems that affect surrounding community's welfare. Therefore, this study analyzed rock blasting operations using explosives costs by modifying blasting parameters to achieve a sustainable mining operation. The research was carried out at Campel Construções e Máquinas Pesadas Ltda, located in the municipality of Taipu-RN. The following methodological procedures were used: characterization of the project; analysis of the company's current fire plan (A) and a suggested new fire plan (B). The results showed that the new fire plan (B) achieved greater efficiency in the production process and the socio-environmental problems were reduced. Savings in operating costs were also achieved.

**KEYWORDS:** Reduction of costs, dismantling of rocks, fire plan, quarries.

### **INTRODUÇÃO**

A exploração de granito com uso de explosivos, para fins de produção de brita para construção civil, provoca inevitáveis impactos ambientais e desconforto para as populações do entorno da pedreira. Para Hartman (1992), os custos dessa operação estão diretamente relacionados à razão de carga, o tipo de explosivos utilizados, além do número, diâmetro e profundidade dos furos.

Portanto, é de extrema importância realizar essa atividade mineral de forma sustentável, isto é, procurando minimizar impactos ambientais, sociais e custos operacionais, buscando uma melhor gestão dos recursos naturais.

Em função do problema de pesquisa aqui apresentado, o objetivo deste estudo foi analisar os custos do plano de fogo da pedreira Campel Construções e Máquinas Pesadas Ltda, buscando ações de

prevenção e mitigação de impactos ambientais decorrentes do desmonte de rochas com uso de explosivos, através de acompanhamento e reavaliação de alguns parâmetros do plano de fogo da empresa.

## MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de um estudo de caso sobre os custos do desmonte de rocha da empresa Campel Construções e Máquinas Pesadas Ltda que foram avaliados considerando as seguintes etapas:

**Caracterização do empreendimento e zoneamento legal da área urbana** – O estudo foi realizado na empresa Campel Construções e Máquinas Pesadas Ltda, localizada na Fazenda Serra Pelada, S/N, Zona Rural, Taipu/RN, conforme Figura 1. É uma empresa privada que atua há mais de trinta anos no mercado da mineração, realizando atividades de exploração, beneficiamento e comercialização de materiais britados para construção civil.

Figura 1. Planta de situação da Pedreira Campel.



**Análise das práticas operacionais utilizadas no plano de fogo (A)** – As atividades de extração do granito e beneficiamento associado a produção de material utilizado na construção civil, são realizadas pelo método de lavra a céu aberto, em cava, com bancadas descendentes. São utilizados dois tipos de explosivos (granulado e encartuchado). A iniciação da coluna explosiva é realizada com mantopim, e a amarração é feita em linhas, de forma que durante a detonação, saia uma linha de cada vez. A malha é bem apertada (Afastamento = 1,2 m e Espaçamento = 2,3 m), altura média da bancada 13,14 m, tampão de 1,5 m, sub-furação 0,40 m e diâmetro de perfuração de 2,5”;

**Avaliação e aplicação das novas práticas operacionais sugeridas para o plano de fogo (B)** – Para realização do desmonte de rocha continuou-se utilizando os mesmos dois tipos de explosivos (granulado e encartuchado), o sistema de iniciação dos explosivos foi trocado pelo sistema não elétrico (nonel), a amarração foi modificada para a forma espinha de peixe utilizando retardos de modo que a detonação saia furo-a-furo, a malha foi alongada (Afastamento = 1,4 m e Espaçamento = 2,8 m), altura média da bancada 13,14 m, tampão de 1,2 m, sub-furação 0,40 m e diâmetro de perfuração de 2,5”;

### Comparação do plano de fogo A e B:

Para o cálculo dos custos do plano de fogo foram utilizadas algumas fórmulas, que são elas:

- Razão de carregamento: é a quantidade de explosivos necessária pra o desmonte de 1 m<sup>3</sup> de rocha (Herrmann, 1972). Expressa pela fórmula:  $RC = Q / V$ , onde RC é a razão de carregamento, Q é a quantidade de explosivos e V o volume de rocha “in situ”.

- Quantidade de explosivos: com as variáveis referentes a comprimento do furo e razão linear de carregamento é possível calcular a quantidade de explosivos necessários (Olofsson, 1990). A partir da fórmula:  $Q = (AB - T - S) \times RL \times NF$ , onde AB é a altura da bancada, T é o tampão, S é a sub furação, RL é a razão linear de carregamento e NF é o número de furos.

- Volume de rocha "in situ": Para Scott (1996) é possível calcular esse volume através da seguinte fórmula:  $V = A \times E \times NF \times AB$ , onde A é o afastamento dos furos de duas linhas, E é o espaçamento entre furos de uma mesma linha, NF é o número de furos e AB a altura da bancada.

- Custo do desmorte: Para Costa e Silva (2009) o custo de um desmorte pode ser calculado da seguinte forma:  $V \times RC \times CU$ , onde V é o volume de rocha in situ, RC é a razão de carregamento e CU é o custo unitário que é calculado multiplicando a quantidade de explosivo pelo preço do quilo de explosivo dividido pelo volume de rocha.

Dessa forma, foram comparados o plano de fogo A e B, através de pesquisa experimental quantitativa e qualitativa dos impactos decorrentes da atividade do desmorte de rocha com explosivo, buscando conferir qual plano de fogo é o mais adequado para uma lavra que vise minimizar os impactos ambientais e aproveitar os recursos naturais existentes de forma sustentável, reduzindo custos operacionais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos suportes teóricos e procedimentos metodológicos adotados acima, os resultados apresentados mostram que apesar de ter sido utilizada uma carga explosiva significativa no plano de fogo (A), não foram atingidos os mínimos padrões de eficiência no desmorte de rocha, tendo em vista a grande produção de blocos fora de especificação (matação), causando grandes transtornos na operação, já que teve que introduzir o rompedor na etapa do desmorte secundário. Além disso, o desmorte secundário é considerado o maior gerador de ruídos e vibrações e impactos ambientais que são os maiores alvos de reclamação da população do entorno da pedreira.

Diante dos problemas observados a primeira mudança no plano de fogo foi em relação a forma de amarração da bancada que não atendia aos padrões técnicos, pois ao invés de serem utilizados retardados furo a furo com os retardos específicos, estava sendo amarrada de uma forma que durante a detonação saíria uma linha de cada vez, onde na verdade deveria sair um furo ou no máximo 3 de cada vez. Isso dificultava e, muito a fragmentação da rocha, pois não se criava frente livre para o explosivo trabalhar.

- **Plano de fogo (A):**

O plano de fogo executado, continha as seguintes especificações: afastamento (A): 1,2 m; espaçamento (E): 2,3 m; altura média da bancada (AB): 13,14 m; tampão (T): de 1,5 m; Sub-furação (S): 0,40 m; bancada com 5 linhas amarradas com cordel detonante e um total de furos (NF): 126.

- Volume de rocha "in situ":  $V = A \times E \times NF \times AB$

$$V = 1,2 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} \times 126 \text{ furos} \times 13,14 \text{ m}$$

$$V = 4.569,56 \text{ m}^3$$

- Quantidade de explosivos:  $Q = (AB - T - S) \times 2,78\text{kg}^* \times NF$

$$Q = (13,14 \text{ m} - 1,5 \text{ m} - 0,40 \text{ m}) \times 2,78 \text{ kg} \times 126$$

$$Q = 3.937,15 \text{ kg}$$

2,78 kg é a razão linear de carregamento por metros, significa que cada metro perfurado com 2,5" foram necessários 2,78 kg de explosivos encartuchados e/ou granulada.

- Razão de carregamento kg/m<sup>3</sup>:  $RC = Q / V$

$$RC = 3.937,15 \text{ kg} / 4.569,56 \text{ m}^3$$

$$RC = 0,862 \text{ kg/m}^3$$

Para cada 1,0 m<sup>3</sup> de rocha a ser detonado serão utilizados 0,862 kg de explosivos encartuchados e/ou granulado.

- **Plano de fogo (B):**

Ao invés de utilizarmos um afastamento de 1,2 m, passou-se a utilizar 1,40 m; já quanto ao espaçamento de 2,3 m, modificamos para 2,8 m; e o tampão de 1,5 m passou a ter 1,20 m.

- Volume de rocha "in situ":  $V = A \times E \times NF \times AB$

$$V = 1,4 \text{ m} \times 2,8 \text{ m} \times 126 \text{ furos} \times 13,14 \text{ m}$$

$$V = 6.490,10 \text{ m}^3$$

- Quantidade de explosivos:  $Q = (AB - T - S) \times 2,78\text{kg}^* \times NF$

$$Q = (13,14 \text{ m} - 1,2 \text{ m} - 0,40 \text{ m}) \times 2,78 \text{ kg} \times 126$$

$$Q = 4.042,23 \text{ kg}$$

Amarração tipo espinha de peixe, com retardo furo-a-furo, utilizando não elétrico BRINEL de coluna e não elétrico de ligação.

2,78 kg é a razão linear de carregamento por metros, significa que cada metro perfurado com 2,5" serão necessários 2,78 kg de explosivos encartuchados e/ou granulado.

- Razão de carregamento kg/m<sup>3</sup>:  $RC = Q / V$

$$RC = 4.042,23 \text{ kg} / 6.490,10 \text{ m}^3$$

$$RC = 0,623 \text{ kg/m}^3$$

Resumindo: Para cada 1,0 m<sup>3</sup> de minério a ser detonado serão utilizados 0,623 kg de explosivos encartuchados ou granulado.

- **Comparação do plano de fogo A e B:**

Então sabendo que 1 kg de explosivo encartuchado de 2" X 24 " custa R\$ 7,469 e que 1 kg de explosivo granulado custa R\$ 5,995 teremos uma média de R\$ 6,732/kg.

Isso quer dizer que para detonar a carga, com os padrões do plano de fogo A, haverá um custo médio de explosivos de R\$ 26.504,89 = 3.937,15 kg \* R\$ 6,732/kg. Calculando o preço médio por metro cúbico temos: (R\$ 26.504,89 / 4.569,56 m<sup>3</sup> = R\$ 5,80/m<sup>3</sup>).

**- Plano de fogo (A):**

$$R\$ = V \times RC \times \text{Custo unitário}$$

$$R\$ = 4.569,56 \text{ m}^3 \times 0,862 \text{ kg/m}^3 \times R\$ 5,80$$

$$R\$ = 22.845,97$$

**- Plano de fogo (B):**

$$R\$ = V \times RC \times \text{Custo unitário}$$

$$R\$ = 4.569,56 \text{ m}^3 \times 0,623 \text{ kg/m}^3 \times R\$ 5,80$$

$$R\$ = 16.511,65$$

Os dados acima comparou os resultados do custo total do plano de fogo A e B. Os resultados apresentados evidenciam uma economia de R\$ 6.334,32 no desmonte de rocha após as modificações realizadas.

Além disso, os níveis de ruídos e vibrações foram amenizados consideravelmente, devido a extinção do uso de cordel detonante e a aplicação do acessório não-elétrico. Outro fator que contribuiu para uma melhor gestão ambiental desses impactos ambientais foi a diminuição do número de matações após o fogo primário, conforme podemos observar no comparativo da Figura 2.

Figura 2. Resultado do desmonte de rocha: plano de fogo antigo (A) e plano de fogo proposto (B).



## **CONCLUSÃO**

A análise dos resultados obtidos neste estudo de caso permitiu concluir que o plano de fogo B gerou benefícios econômicos, ambientais e tecnológicos que deve ser integrada a todas as etapas do processo de desmonte de rochas com uso de explosivos na pedreira Campel.

O custo do desmonte de rocha utilizando o plano de fogo B tornou-se menor em comparação ao antigo, uma vez que a malha utilizada é mais espaçada (malha aberta), fazendo com que a área entre furos aumente, diminuindo assim a quantidade de explosivos necessários.

A aplicação contínua do plano de fogo B reduziu os efeitos maléficos da atividade do desmonte de rochas, pois o cordel detonante foi extinto da empresa e passou-se a utilizar o acessório não-elétrico, que reduz os ruídos e vibrações, tornando o uso dos recursos naturais mais eficiente, minimizando a poluição ambiental e os riscos para a saúde humana.

Portanto, com a realização deste trabalho, chegou-se à conclusão de que a adoção do plano de fogo B reduziu os impactos negativos advindos da atividade de desmonte de rocha com explosivos, isto é, minimizando os impactos ambientais, sociais e culturais e buscando sempre o menor custo operacional.

## **REFERÊNCIAS**

- COSTA E SILVA, V. CURSO DE MIN 210 - OPERAÇÕES MINEIRAS. Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas UFOP, 2009.
- HARTMAN, H. L. et al. SME Mining Engineering Handbook. 2. Ed. Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. 1992. 2 v.
- HERRMANN, C. Manual de Perfuração de Rocha. 2. ed. São Paulo: Polígono, 1972. 416 p.
- OLOFSSON, S. O. Applied Explosives Technology for Construction and Mining. 2. Ed. Årila: APPLEPLEX. 1990. 304 p.
- SCOTT, A. et al. Open Pit Blaster Desing: Analysis and Optimisation. Queensland: JKMRC. 1996. 338 p.