



DETERMINAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO PARA MOAGEM DE UM MINÉRIO DE NÍQUEL DA MINERAÇÃO SERRA DE FORTALEZA

SOUZA, T.F.¹, ROCHA, G.M.², COTA, T.G.³,
RAMOS, K.S.³, MEIRELES, L.V.², PEREIRA, C.A.²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET - MG) – Campus Araxá
Departamento de Engenharia de Minas e Civil, e-mail: tamiris.fonseca@cefetmg.br

²Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia de Minas

³Universidade Federal do Ceará (UFC) – Campus Crateús.

RESUMO

O uso do índice de trabalho (W_i), proposto por Bond, no cálculo da energia consumida para moagem de determinado minério é bastante difundida, sendo uma prática comum na indústria mineral. O objetivo deste estudo foi através de testes de moagem realizados em condições padronizadas, determinar o valor de W_i para a malha teste de 150 μm , e então calcular a energia necessária para moagem do minério de níquel da mineração Serra de Fortaleza. O material alimentado nos ensaios era 80% passante em 2110 μm , e no produto alcançou 80% passante em 105,34 μm . Essa granulometria obtida no produto apresentou boa correlação com a malha teste, conforme equação encontrada na literatura. O valor obtido de W_i do minério de níquel estudado na malha teste de 150 μm foi 10,58 kWh/st e o consumo energético de 8,01 kWh/t.

PALAVRAS-CHAVE: Minério de níquel, Consumo energético, Método de Bond.

ABSTRACT

The use of the Work Index (W_i) proposed by Bond in the calculation of the consumed energy for the ore milling process is widespread in the mineral industry operations. The objective of this study was to determine the W_i value for the test mesh of 150 μm and then calculating the required energy to grind the nickel ore from the Serra de Fortaleza mining. The material fed in the tests was 80% passing 2110 μm , and the product reached 80% passing 105.34 μm . This obtained P80 presented good correlation with the test mesh, according to the equation found in the literature. The obtained value of nickel ore W_i from the Fortaleza de Minas Mining in the test mesh of 150 μm was 10.58 kwh / st and the energy consumption was 8.01 kWh/t.

KEYWORDS: Nickel ore, Energy consumption, Bond`s Method.

1. INTRODUÇÃO

O níquel é um metal muito utilizado na composição de aços inoxidáveis juntamente com o cromo, 62% de sua aplicação, conferindo a essa liga elevada resistência a corrosão (Farias, 2009). Situado dentre as 8 substâncias metálicas de maior produção comercializada no Brasil, o níquel em 2015 representou 4,7% do valor da produção dessa classe (DNPM, 2016). Localizada em Minas Gerais, a Mineração Serra de Fortaleza processava minérios de baixo teor (menor que 2%), sendo este sulfetado, cuja mineralização ocorre tipicamente entre o serpentinito na capa e uma formação ferrífera bandada na lapa (Carvalho *et al.*, 2002).

A cominuição é a primeira etapa do processo de beneficiamento mineral. O processo de cominuição representa uma parcela significativa dos custos de investimento e de operação de usinas de beneficiamento de minérios (Carvalho *et al.*, 2009). Dados apresentados por Deniz *et al.* (2010) mostram que essa etapa chega a consumir entre 3 a 4% da eletricidade gerada no mundo inteiro e que compreende até 70% de toda energia necessária em uma típica planta de processamento mineral.

As leis da cominuição são leis empíricas que relacionam o trabalho necessário para fragmentar a unidade de massa do sólido com uma variação de tamanho das partículas. Bond propôs em seu postulado o uso do índice de trabalho, conhecido como W_i (*Work Index*) no cálculo de energia necessária para moagem de determinado minério (Luz *et al.*, 2010). A determinação deste índice é uma prática bastante difundida na indústria mineral, e é de grande importância para o dimensionamento e otimização de circuitos de moagem.

Em sua concepção o W_i é definido como o trabalho necessário para reduzir a unidade de peso (tonelada curta = 907kg) do material considerado, desde um tamanho inicial teoricamente infinito, até uma granulometria 80% passante em 100 μm (Luz *et al.*, 2010). Assim, segundo a teoria de Bond, para um W_i específico, seria possível calcular o consumo energético para qualquer tamanho de produto e alimentação da moagem. Porém, na prática o procedimento é mais complicado, pois o W_i não é uma constante somente do material e varia com a granulometria de referência do produto da moagem (malha teste) (Magdalinovic, 1989).

Um outro método para estimar o consumo energético na moagem em moinhos de bolas foi desenvolvido por Donda (2003), usando minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Este método consiste em moagens usando tempos diferentes com condições padronizadas para carga de bola e minério, velocidade do moinho e porcentagem de sólido, calculando a potência consumida por tonelada, para moinhos com diâmetros de até 76 cm.

O presente trabalho teve como objetivo realizar ensaios de W_i , através do método de Bond, na determinação da energia necessária para moagem do minério de níquel da mineração Serra de Fortaleza.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O minério de níquel utilizado foi previamente caracterizado por Imbeloni (2013). Os ensaios de caracterização mineralógica, através de difração de raios X, mostraram a presença de actinolita, quartzo, talco, antigorita e pentlandita, sendo esse último o mineral portador de níquel. A análise química indicou teor de níquel de 0,8%, enquanto o ensaio de picnometria a gás apresentou massa específica igual a 3,13 g/cm³.

O desenvolvimento experimental do trabalho foi realizado no Laboratório de Tratamento de Minérios do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Primeiramente, o lote inicial com a amostra de minério de níquel foi homogeneizado e quarteado, utilizando para isso pilha alongada, pilha cônica e quarteador do tipo carrossel.

O ensaio de W_i foi baseado na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas denominada ABNT MB-3253, registrada no INMETRO como NBR 11376 (ABNT, 1990). Para realização do teste utilizou-se de moinho padrão, com controle de giro e carga de bolas definida.

Segundo o procedimento adotado o material a ser utilizado deveria estar abaixo de 3400 μm . Para a adequação granulométrica as partículas retidas em 3400 μm foram cominuídas em britadores de rolos e de discos. Posteriormente, foi realizada a análise granulométrica da alimentação dos ensaios de moagem através de peneiramento a úmido em peneirador vibratório suspenso.

Em seguida conduziu-se os ensaios de acordo com os passos descritos na ABNT MB-3253 (ABNT, 1990). A finalização do teste foi indicada pela estabilização consecutiva dos resultados de moabilidade, que representa a massa passante gerada a cada rotação do moinho, isto é, a determinação do número de rotações necessárias para que a carga circulante fosse 250% da alimentação nova. A malha teste adotada para este estudo foi a de 150 μm .

Ao final dos testes, foi realizada análise granulométrica a úmido do passante de 150 μm , afim de se determinar a abertura da peneira na qual 80% da massa do produto é passante (P80). De posse dos resultados de abertura da malha teste (A_m), A80, P80 e a moabilidade (Mob) calculou-se o W_i , utilizando a Equação 1:

$$W_i = \frac{1,1 \times 44,5}{A_m^{0,23} \times Mob^{0,82} \times 10 \times \left(\frac{1}{\sqrt{P80}} - \frac{1}{\sqrt{A80}} \right)}$$

(1)

Através da 3ª lei de Bond calculou-se então a energia (E) em kWh/st para moer uma tonelada curta do minério (W), conforme Equação 2:

$$E = 10 \times W \times \left(\frac{1}{\sqrt{P80}} - \frac{1}{\sqrt{A80}} \right)$$

(2)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados do ensaio de determinação da moabilidade do minério de níquel pelo método de Bond, utilizando a malha teste de 150 μm . A moabilidade foi determinada através da média aritmética dos três últimos valores obtidos, sendo encontrado o valor de 2,24 g/rot.

Tabela 1. Resultados do ensaio de moabilidade da amostra de minério de níquel

Ciclo	Número de rotação	Massa passante início do ciclo (Mai)	Massa retida em Am	Massa passante em Am(Mpi)	Passante liq. gerado ciclo i	Desvio	Moabilidade
1	200	189,83	1127,21	352,67	162,84	70,15	0,81
2	473	38,1	693,38	786,5	748,4	-363,68	1,58
3	194	115,68	948,94	530,94	415,26	-108,12	2,14
4	160	80,33	1091,11	388,77	308,44	34,05	1,93
5	187	62,53	1033,22	446,66	384,13	-23,84	2,06
6	163	88,36	1031,01	448,87	360,51	-26,05	2,22
7	152	85,88	1019,9	459,98	374,1	-37,16	2,46

A Figura 1 apresenta as curvas de distribuição granulométrica da alimentação e do produto do moinho de Bond. A partir da análise das curvas foi possível obter a abertura da peneira pela qual passavam 80% da massa da alimentação e do produto, sendo 2116,96 μm e 105,34 μm , respectivamente.

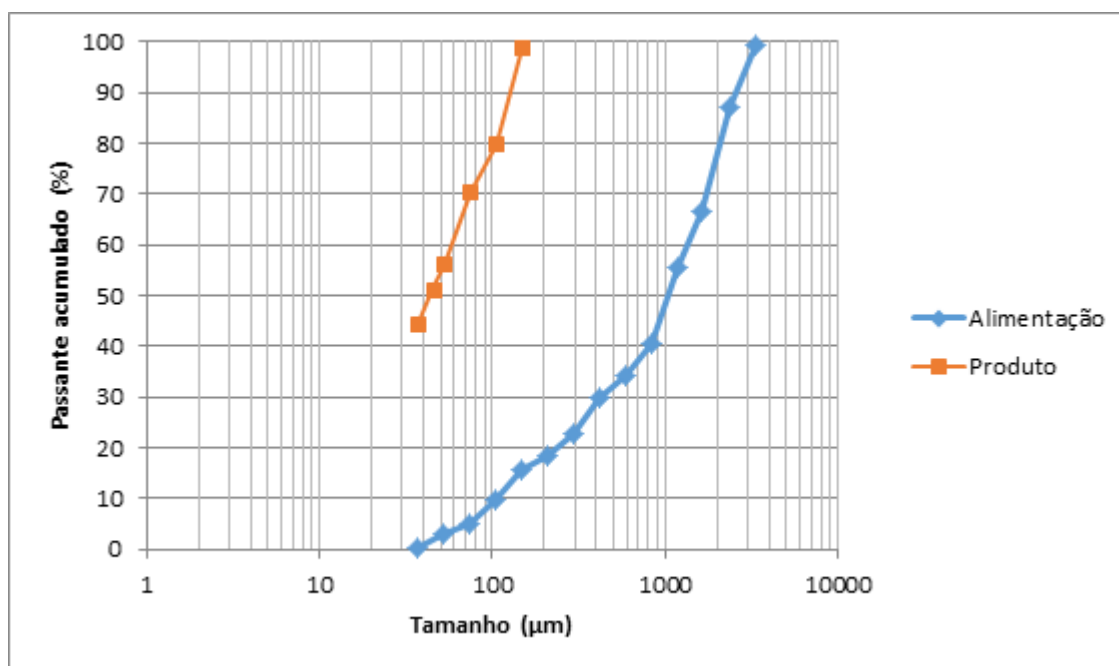


Figura 1. Distribuição granulométrica da alimentação e do produto do moinho de Bond.

Segundo Duque *et al.* (2014) é esperado que exista uma boa correlação entre a abertura da malha teste e o valor do P80, embora a inclinação da distribuição granulométrica de cada produto não seja igual para todos os materiais, pois, por definição, o valor de P80 está sempre próximo da abertura da malha teste. De acordo com este autor, o valor de P80, em geral, pode ser correlacionado à abertura da malha teste (MT) pela Equação 3. Neste sentido, usando esta equação, o valor de P80 esperado seria de 106,05 μm , valor próximo ao encontrado na curva de distribuição granulométrica de 105,34 μm . Este resultado é um indício que essa equação pode ser aplicada como uma boa estimativa do valor de P80 em ensaios de W_i .

$$P80 = \frac{MT}{\sqrt{2}} = 0,707xMT$$

(3)

A partir dos resultados obtidos foi possível realizar o cálculo do índice de trabalho (W_i), sendo o valor encontrado de 10,58 kWh/t. Ao aplicar esse valor no cálculo da energia necessária para moer 1 tonelada do minério de níquel, o valor determinado foi 8,01 kwh.

Figueira *et al.* (2004) apresenta para o minério de níquel o valor médio de W_i de 12,5 kWh/st, medido pelo método de Bond para uma malha padrão de 100 μm . Imbelloni *et al.* (2014), ao estudar o minério de níquel de mesma origem deste trabalho, porém utilizando o método de Donda com malha teste de 75 μm para calcular o consumo energético, encontraram valor de 26,8 kWh/t. Observa-se, ao comparar os três resultados que com a redução da abertura da malha teste há um aumento nos valores de W_i encontrados. Essa diferença pode estar associada a um maior gasto energético para a fragmentação do material em granulometrias mais finas. A diferença mais significativa para o resultado obtido por Imbelloni *et al.* (2014), pode ser porque além da malha teste, os métodos utilizados foram diferentes, pois os autores citados aplicaram o método de Donda, que foi realizado a úmido e em circuito aberto.

4. CONCLUSÕES

O valor determinado de W_i do minério de níquel da Mineração Serra de Fortaleza utilizando o método de Bond, na malha teste de 150 μm , foi 10,58 kWh/t e o consumo energético foi de 8,01 kWh/t.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Ouro Preto, CAPES, CNPq e Fapemig.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Moinho de Bolas. Determinação do Índice de Trabalho: NBR 11376. Rio de Janeiro, 1990.
- Carvalho EA, Silva AO, Júnior Reis JB, Brenner TL. Níquel-Mineração Serra da Fortaleza. Usina de Beneficiamento de Minérios do Brasil CETEM; 2002.
- Carvalho RM, Tavares LM. Modelagem generalizada da cominuição. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, organização. Proceedings do XXIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa; 2009; Gramado, Brasil.
- Deniz V, Çayirli S, Umucu Y. A Comparison of dry grinding kinetics of different material characteristic pumices in a ball mill. In: International Mineral Processing Symposium, organização. Proceedings do XII International Mineral Processing Symposium; 2010, Turkey.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas. [Internet]. Brasília: DNPM, 2016. 31 p. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/>.
- Donda, JD. Um método para prever o consumo específico de na remoagem de concentrados de minérios de ferro em moinhos de bolas. [Tese de Doutorado]. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2003.
- Duque TFMB, Schneider CL, Mazzinghy DB, Alves VK. BWI em função da malha testes. Holos 2014;3;112-121.
- Farias JOG. Relatório Técnico 64 Perfil do Níquel. [Internet] 2009; 56 p. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P38_RT64_Perfil_do_Nxquel.pdf/5a012ef8-9247-407c-a188-30cb2efeb241.
- Imbelloni, AM. Concentração do minério de níquel da mineração Fortaleza de Minas. [Dissertação de Mestrado]. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto; 2013.
- Imbelloni AM, Silva JP, Pereira CA. Nickel ore grinding energy determination. Revista da Escola de Minas 2014; 67(2);185-189.
- Luz AB, Sampaio JA, França, SCA. Tratamento de minérios. 4a. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCP; 210. Chapter 4, Britagem e moagem, p.143-210.
- Magdalinovic NM. Calculation of energy required for grinding in a ball mill. International Journal of Mineral Processing 1989; 25;41-46.