ISSN: 2594-6153

Comparação entre a Potência Consumida Experimental e Teórica de um Moinho de bolas na Cominuição de Fosfogesso

Felipe Claro Natarelli, Aldo Ramos Santos, Marlene Silva de Moraes, Vitor da Silva Rosa, Deovaldo de Moraes Júnior

Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil

E-mail: felipenatarelli@hotmail.com

Resumo: O fosfogesso é objeto de diversas pesquisas, podendo ser usado como isolante térmico e acústico. Logo, a sua granulometria é um parâmetro fundamental a ser estudado. O presente estudo visou quantificar a potência consumida do moinho de bolas experimentalmente na cominuição do fosfogesso e comparar com a potência teórica prevista pela lei de Bond. Empregou-se um moinho de bolas de bancada com diâmetro de 165 mm e esferas de alumina com 30 mm para a cominuição do fosfogesso, o qual foi submetido a rotações entre 45 a 105 rpm. A potência experimental foi calculada a partir do torque gerado pelo motor em balanço. Com os resultados obtidos, verificou-se que a lei de Bond apresenta um erro médio de 19% para a previsão da potência consumida em comparação com os resultados experimentais.

Palavras-chave: Fosfogesso; Índice de Trabalho; Fertilizantes; Granulometria; Moinho de Bolas.

Comparison Between Experimental and Theoretical Power Consumption of phosphogypsum Communition in a Ball Mill

Abstract: Phosphogypsum is the main object in many researches and it can be used as thermal and acoustic insulation. Therefore, its granulometry is a fundamental parameter to be studied. This paper focused in quantifying the experimental energy consumption in phosphogypsum communition with a ball mill and to compare with Bond's law energy consumption prediction. A bench-sized ball mill was used, which has 165 mm of diameter and alumina spheres with 30 mm for the phosphogypsum communition, then submitted to speeds between 45 and 105 rpm. The energy consumption was calculated from the motor torque. The results allowed verifying that Bond's law prediction has an average error over 19% in comparison to the experimental results.

Keywords: Phosphogypsum; Work Index; Fertilizer; Granulometry; Ball Mill.

Introdução

A indústria de fertilizantes, que está em constante aprimoramento, é um dos pilares da sociedade. Os componentes-chave para uma boa fertilização do solo são nitrogênio, fósforo e potássio. Quanto aos de fertilizantes fosfatados, existe um grande problema que todos os produtores enfrentam: a geração do resíduo fosfogesso (FF). Este resíduo é produzido na proporção aproximada de cinco toneladas para cada tonelada de ácido fosfórico [1]. É comum encontrar grandes pilhas de FF próximas aos sítios de produção, uma vez este resíduo não

ISSN: 2594-6153

possui uso viável para seu total consumo. Atualmente existem diversas pesquisas acerca deste material, destacando-se seu uso como isolante térmico, isolante acústico, revestimento de cerâmica, pavimentação de vias e aditivo de adubos. Para preparar o material para tais pesquisas é comumente realizada a cominuição do material, ou seja, redução do tamanho deste sólido.

Este tipo de beneficiamento pode ser alcançado usando uma operação unitária de moagem, como britadeiras e moinhos. As vantagens de reduzir o tamanho do material são o aumento da superfície de contato, melhorando os processos de secagem, homogeneização, resfriamento, aquecimento e uma cinética reacional mais precisa [2]. Os britadores são empregados para cominuição de partículas mais grosseiras de dimensões superiores a 1,5m. Os moinhos reduzem as partículas para tamanhos abaixo de 0,05m. Dentre os moinhos existentes, o de bolas segue, normalmente, a lei de Bond [3] (Equação 1) para estimar a potência consumida na cominuição. Para tal estimativa, é necessário conhecer o índice de trabalho (w_i) de Bond, um valor constante disponibilizado na literatura para alguns materiais. A Tabela 1 contém alguns índices de trabalho disponíveis.

$$W = w_i \,.\, C \,.\, 0{,}3162 \,.\, \left(\frac{1}{\sqrt{D_2}} - \frac{1}{\sqrt{D_1}}\right) \quad (1)$$

O valor de W é a potência consumida pelo moinho em kW, w_i é o índice de trabalho em KWh/ton, C é a carga no moinho, D_1 é o diâmetro médio do material em milímetros antes da moagem e D_2 é o diâmetro médio do material em milímetros após a moagem, quando 80% passa (ou 20% é retido) em uma dada peneira [3].

Tabela 1 - Índice de trabalho e densidade relativa de alguns materiais a úmido [2]

Material	Densidade Relativa	Índice de Trabalho (w_i, kWh/t)
Areia	2,65	46,46
Argila	2,23	7,10
Calcário	2,69	11,61
Carbonato de Cálcio	3,00	8,77
Carvão	1,63	11,70
Coque	1,51	20,70
Fertilizante fosfático	2,65	13,03
Rocha fosfática	2,66	10,13
Minério de ferro	3,96	15,44
Vidro	2,58	3,08

ISSN: 2594-6153

Objetivos

O presente estudo visou comparar a potência consumida experimentalmente por um moinho de bolas na cominuição de fosfogesso com a potência teórica prevista pela lei de Bond.

Material e Métodos

O fosfogesso utilizado, que tem origem do Peru, foi submetido à secagem a temperatura de 60 °C até obter massa constante. A massa seca com volume de 0,36 litros de FF (10% do volume do moinho) foi colocada no topo de um conjunto de nove peneiras com abertura conforme Tabela 2. As peneiras, após sofrerem uma vibração mecânica por 10 minutos, foram pesadas individualmente.. Em seguida, o FF foi colocado no moinho juntamente com esferas de alumina com diâmetro médio de 30 milímetros, preenchendo aproximadamente 50% do volume do moinho. Foi utilizado um motor de ¼ de hp de potência acoplado a um conjunto de roletes, dotado de inversor de frequência, capaz de ajustar a rotação do vaso quantificada com um tacômetro, sistema ilustrado na Figura 1. Após a moagem, o material foi colocado novamente no mesmo conjunto de peneiras, vibradas por mais 10 minutos. As peneiras foram pesadas para classificação granulométrica. O moinho operou com 45, 60, 75, 90 e 105 rpm. Para cada rotação, foram realizados três ensaios com moagem por 20 minutos cada, totalizando 15 experimentos.

Tabela 2 - Abertura das peneiras

N° Peneira	Tyler/MESH	Abertura (mm)	D médio (mm)
9	5	4	> 3,4
8	7	2,8	3,4
7	9	2	2,4
6	12	1,34	1,67
5	24	0,71	1,025
4	32	0,5	0,605
3	42	0,355	0,4275
2	60	0,25	0,3025
1	Fundo	-	≤ 0,3025

ISSN: 2594-6153

A potência (W) consumida foi obtida experimentalmente por um motor em balanço e com um braço de 0,514 m acoplado a um medidor de massa. O valor da potência foi quantificado pelas Equações 2 e 3:

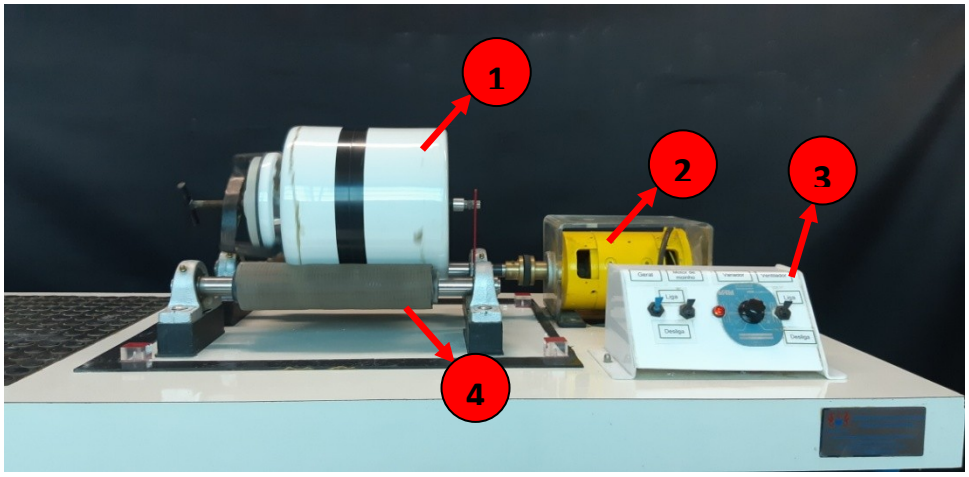


Figura 1- Moinho de bolas em escala industrial reduzido. 1) Vaso cerâmico de 3,6 L; 2) Motor suportado por dois rolamentos externos e carcaça em balanço com braço acoplado a uma balança; 3) Controladores e inversor de frequência e 4) Roletes.

$$W = F \,.\, L \,.\, 2\pi \,.\, n \tag{2}$$

$$W = \left(m_{balança}\right).(9{,}8\ m/s^2)\,.\,L_{braço}\,.\,(2\pi\,.\,rpm/60) \tag{3}$$

Nas Equações 2 e 3, W é a potência consumida em watts, F em Newton, L e $L_{braço}$ em metros, n a rotação por segundo, $m_{balança}$ a massa em quilogramas, L em metros, rpm em rotação por minuto.

Resultados e Discussão

O diâmetro médio do material antes da moagem (D_1) foi igual ou superior a 3,400 milímetros, que representa a peneira com maior abertura. O diâmetro médio do material após a moagem (D_2) foi igual ou inferior a 0,3025 milímetros (peneira com menor abertura). Na Figura 2 têm-se os valores de potência consumida pelo moinho experimentalmente com FF e a previsão de consumo de potência utilizando a lei de Bond (Equação 1). Para o uso desta lei é necessário conhecer o índice de trabalho ou coeficiente de Bond (w_i), o qual é específico para cada material. No entanto, não há na literatura informações deste índice para o fosfogesso, de modo, que adotou-se o índice de trabalho de Bond a seco da rocha fosfática, que tem o valor de 13,51 KWh/ton para efetuar os cálculos.

Ressalta-se que o fosfogesso possui praticamente todas as substâncias, com exceção do fósforo, presentes na matéria-prima (rocha fosfática), o que permitiu a escolha do índice de trabalho de Bond da rocha fosfática para estimativa da potência consumida na moagem.

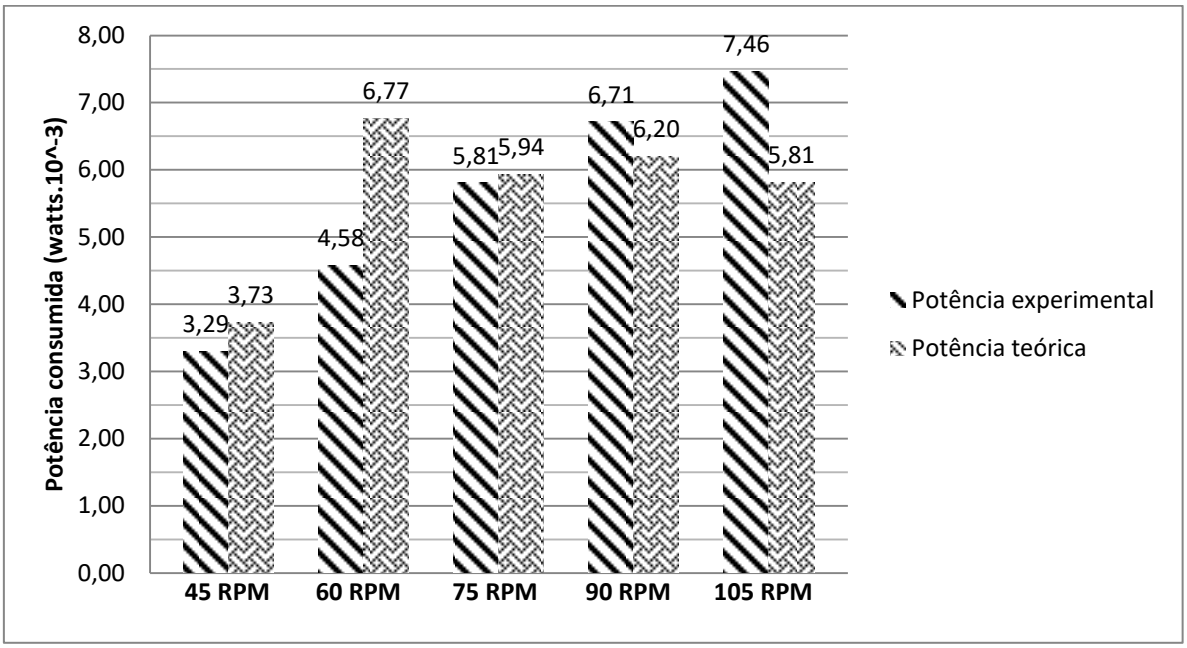


Figura 2 - Comparação da potência experimental e teórica no moinho de bolas

Observou-se na Figura 2 que a potência teórica prevista pela lei de Bond fornece um erro médio de 19% em relação aos valores experimentais. Devido a complexidade do fenômeno e a aproximação do índice de trabalho de Bond, os resultados foram satisfatórios e, de modo qualitativo, pode-se prever que o índice de trabalho de Bond do fosfogesso não seja tão distinto em comparação com o w_i da rocha fosfática.

Conclusões

O presente trabalho permitiu concluir que:

a) A previsão da potência teórica do moinho de bolas com a lei de Bond apresentou um erro de 19% em relação aos dados experimentais;

b) A lei de Bond deve ser usada com cautela em moagens de fosfogesso, uma vez que o índice de trabalho de Bond adotado foi o da rocha fosfática.

Referências

1. Maia, M. F. C. B. Eficiência da aplicação do fosfogesso como isolante térmico industrial. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do ABC, Programa de Pós-Graduação em Energia, Santo André, 2016.

2. Moraes Jr, D.; MORAES, M. S. Laboratório de Operações Unitárias I. Santos: Ed. do autor, 2011
3. Bond, F. C., The third theory of comminution. Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, 193: p. 484–494. 1952.