

CONSTRUÇÃO DE MOINHO DE BOLAS PARA A DETERMINAÇÃO DE WI

Arthemis Silva de Oliveira^[1]; Vitoria Nayara de Lima Frutuoso^[2]; Jose Yvan Pereira Leite^[3]

[1] INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - *Campus* Natal Central (CNAT)

[2] INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - *Campus* Natal - Central

[3] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - *Campus* Natal central

Palavras-chave: *Processamento mineral*

Licença:



Resumo

O Work Index (WI) é um parâmetro de cominuição, que representa a resistência do minério, a britagem e moagem, utilizando o método de Bond para o dimensionamento de moinhos, onde sua determinação é efetuada em um moinho tubular com dimensões de 12'x12' operando com 80% da velocidade crítica. A determinação de WI no nordeste do Brasil é incipiente, assim é necessário ampliar o número de laboratórios capacitados para gerar estes parâmetros. O objetivo é a construção de um moinho de bolas a determinação de WI e para suprir a demanda na formação de recursos humanos e na geração de parâmetros para o dimensionamento de moinhos de minérios da região. Para a realização do trabalho foi necessário utilizar chapas de aço, que foram moldadas em uma calandra responsável pela construção do cilindro do moinho, juntamente aos corpos moedores e toda a base rotacional que foi totalmente adaptada de equipamentos do Laboratório de Tecnologia Mineral. Realizado também a conexão de um inversor de frequência, responsável pela regularização da velocidade, a fim de realizar os ensaios WI nos minérios coletado de minas do estado do Rio Grande do Norte. Com a construção do equipamento, obtivemos através da utilização de parâmetros, como: a densidade aparente, curva de calibração, moabilidade e a carga circulante, resultando na realização dos ensaios com o WI. Os resultados obtidos, declaram que por meio do processo construtivo do equipamento, com a inclusão de elementos de automação industrial, elevam o nível de formação dos recursos humanos, resultando na disponibilização do equipamento que se encontra totalmente apto para serem realizados ensaios de WI. Determinação do parâmetro Work Index em minérios, com intuito de ampliar o número de laboratórios capacitados para gerar estes parâmetros.

Introdução

A indústria mineral realiza extrações de grandes quantidades de minério, as quais não podem ser utilizadas como são desmontados nas operações de lavra, portanto este minério precisa sofrer reduções sucessivas de tamanhos até atingir o tamanho necessário para a operação seguinte (Da Luz, 2005). As operações de redução do minério é o primeiro passo do processamento mineral usado nas usinas, considerando que se está operando com minério que necessariamente precisa sofrer esta redução de tamanho. Este processo pode ser exemplificado através dos grandes depósitos de minério de ferro, localizados em Carajás – PA, que precisam ser reduzidos de tamanho para adequar a granulometria demandadas pelas indústrias metalúrgicas que as utilizam para a produção de seus produtos (Leite, 2005). Quando se está operando com minérios de aluvião, estas operações não se fazem necessárias, tendo em vista que, os minerais de interesse já estão livres. (Wills, 2006). A cominuição é um processo de redução dos minérios e/ou materiais com o objetivo de liberação dos componentes econômicos para as operações subsequentes, tais como classificação, concentração, separação sólido-líquido e secagem. Na indústria mineral o termo é empregado como fragmentação, a qual compreende as etapas de britagem (redução de minério grosso e primeira fase de fragmentação) e moagem (redução de partículas finas e última fase de fragmentação) (Da Luz, 2005; Wills, 2006). A fragmentação, que compreende a fratura e/ou quebra de grandes partes do minério, é causada pela aplicação da abrasão, compressão e impactos. A abrasão é provocada pelo atrito entre as partículas ou entre as partículas e as placas de revestimentos dos equipamentos de fragmentação, o qual gera produtos finos e pouca redução do tamanho original do minério. O esforço de compressão é originado pela força aplicada de forma lenta sobre o minério, resultando em poucos fragmentos de grande tamanho.

Os esforços de impactos são provocados por forças de grande intensidade em pequeno intervalo de tempo, o qual produz uma distribuição granulométrica muito fina (Wills, 2006). Os minérios são fragmentados segundo as superfícies de clivagem, sendo necessário que o esforço aplicado seja suficiente para romper as ligações entre os nós da ligação entre grãos que compõem o minério. É evidente que estes mecanismos não podem ser controlados nas operações industriais, pois envolvem grandes tonelagens de minério por hora. Gomide (1983) revela que, de toda a energia fornecida ao equipamento de fragmentação, o aproveitamento se resume em até 2% para a redução do minério alimentado no equipamento. Esta área se configura uma grande área para o desenvolvimento de pesquisa aplicada, tendo em vista que a potência instalada dos equipamentos de cominuição representa cerca de 60% da potência da Usina, sendo qualquer aumento no rendimento da fragmentação representa uma grande economia nos custos operacionais da Usina, tanto na manutenção como na redução do consumo nominal de energia. Este trabalho tem como objetivo a construção de moinho de bolas para a determinação do parâmetro, denominado de Work Index (WI), no Laboratório de Tecnologia Mineral do IFRN com o objetivo de determinar o WI de minérios de plantas em operação no Rio Grande do Norte.

Problemática

O número de laboratórios no nordeste do Brasil para a determinação do work index é pequeno e a literatura apresenta quantitativo de WI pequeno para minérios da região.

Pergunta(s)/Hipótese(s)

Capacitar e ampliar laboratórios para a determinação de work index de minérios do nordeste do Brasil ampliará o conhecimento para o dimensionamento de moinho?

- Ampliação de número de moinhos em laboratórios para determinação de WI;
- Ampliar a formação de recursos humanos capacitados para a determinação de WI.

Objetivos

Este trabalho tem como objetivo construir um moinho com controle de processo usando inversor de frequência para o Laboratório de Tecnologia Mineral, bem como determinar o Work Index de minérios do Rio Grande do Norte.

A determinação do WI em minérios, em particular do Estado do Rio Grande do Norte e do nordeste brasileiro.

Justificativa

No Estado do Rio Grande do Norte não existe laboratórios que determinem o WI para o atendimento da demanda da indústria. Este equipamento é importante para a formação de recursos humanos capacitados para os desafios da indústria mineral, bem como ampliar os dados tecnológicos dos minérios do Rio Grande do Norte.

Referencial teórico/Estado da arte

O W.I. é o parâmetro cominuição que representa a resistência do minério, à britagem e moagem, sendo

também um dado importante no dimensionamento da capacidade dos equipamentos a serem utilizados em escala industrial (Metso, 2005).

O método de Bond para dimensionamento de moinho de bolas tem sido utilizado nos últimos 60 anos. Baseado no ensaio de WI este método é aplicável principalmente em circuitos tradicionais, os quais incluem estágios de britagem seguidos por moagem em moinhos de barras e bolas (Gomes, Willington Lacerda, 2014).

Na tabela 1 é possível observar valores de WI de alguns minérios, entre os quais alguns com aplicações importantes no Estado do Rio Grande do Norte, tais como feldspato, quartzo e mármore.

Average Grinding Work Index (Wi) for different materials according to Bond:

Material	spec. gravity	Work Index
Basalt	2,91	19
Bauxite	2,20	10
Cement clinker	3,15	15
Cement raw material	2,67	10,57
Clay	2,23	7,10
Clay calcined	1,63	11,37
Coal	1,63	11,37
Coke	1,31	17
Corundum		30-35
Dolomit	2,74	13
Feldspar	2,59	12
Ferrosilicon	4,41	11
Flint	2,65	29
Fluorspar	3,01	10
Glass	2,53	14
Granite	2,66	11
Gypsum rock	2,69	7
Hematite	3,55	14
Lead ore	3,45	13
Limestone	2,65	14
Magnesite	3,06	12
Magnetite	3,88	11
Malartic		9-13
Marble		4-12
Morenci		9
Phosphate zink	2,71	11
Polish ore	2,40	9
Pyrites	4,06	10
Quartz	2,65	15
Quartzite	2,68	11
Rutile ore	2,80	14
Sandstone		11
Silica sand	2,67	16
Silicon carbide	2,75	29
Slag	2,83	11
Slag iron blast furnace	2,39	12,16
Slate	2,57	16
Zinc ore	3,64	12
Zircon sand		20

Figura 1 - Work Index de minérios. Fonte: (Doring, 2018).

Materiais e Métodos/Metodologia

Para a construção do cilindro do moinho foi utilizada chapas de aço que foram moldadas em uma calandra, seguida de soldagem dando origem ao moinho tubular. Os corpos moedores, por sua vez, foram adquiridos em consonância com a literatura para a realização do ensaio de WI (Índice de trabalho). A base rotacional foi adaptada de equipamento disponível no LTM, que foi conectada ao inversor de frequências para regular a velocidade em 80% da velocidade crítica do moinho 12'x12'. Este dispositivo eletrônico é responsável pela automatização do sistema e foi instalado tendo como referência as informações do motor de 0,34 CV que se encontra acoplado ao sistema. As amostras coletas foram submetidas à etapa de britagem em britador de mandíbulas e de impacto, seguida de homogeneização/quarteamento, tendo em vista gerar alíquotas para os ensaios de WI. As alíquotas das amostras obtidas no processo anterior seguiram para a determinação da alimentação do moinho de bolas, da densidade aparente e da distribuição granulométrica. A alimentação foi determinada pelo volume em 0,7l em proveta de 1 l, bem com sua densidade e distribuição granulométrica em conjunto de peneiras entre 9 a 200 malhas. Os ensaios de moabilidade foram realizados até o moinho de bolsas entrar em regime, tendo em vista a determinação da moabilidade e do P80. Com estes dados determina-se o WI.



Figura 2 - Apresenta o fluxograma simplificado do processo para a determinação do WI. **Fonte:** AUTORES.

Resultados e Discussões

A figura 3 apresenta o conjunto do equipamento que foi desenvolvido no Laboratório de Tecnologia Mineral, tendo em vista a determinação do WI.

O equipamento é composto por um motor de 0,25 CV acoplado ao conjunto de polias que transfere movimento para o eixo que esta inserida um conjunto de rolamento de tecnil, no qual o moinho estará inserido e que receberá a transferência de movimento para a sua rotação. O controle de velocidade é efetuado pelo controle da frequência do motor por um inversor de frequência CFW 08 da WEG. O controle de velocidade de rotação do moinho de bolas é dado pela curva de calibração apresentada na figura 3.



Figura 3 - Equipamento moinho de bolas e inversor de frequência.. **Fonte:** AUTORES.

A equação 1 apresenta a velocidade de rotação do moinho em função da frequência gerada pelo inversor de frequência para o motor.

$$W = 1,2016 f (1)$$

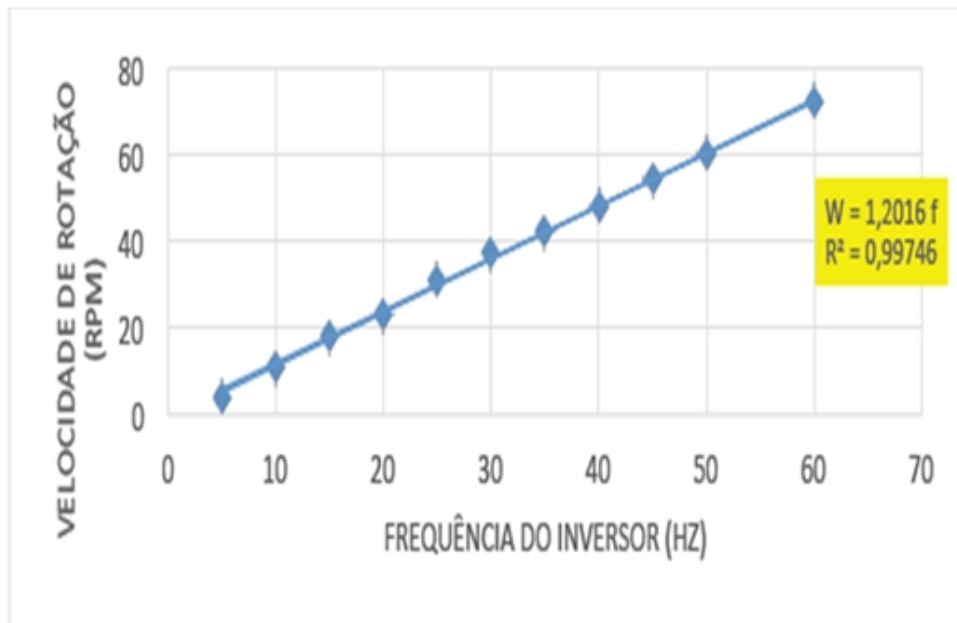


Figura 4 - Curva de calibração da velocidade de rotação do moinho em função da frequência.. **Fonte:** AUTORES.

Como para a realização dos ensaios de WI é necessário que a velocidade do moinho opere com 80% da velocidade crítica do equipamento (76,63 rpm), então o equipamento deve esta regulado para operar com uma frequência de 51,27 Hz que dará uma velocidade de 61,58 rpm ao moinho. Ensaios preliminares de preparação amostras de minérios de mármore (Currais Novos/RN) e feldspato (Parelhas/RN) com vistas a ensaios de WI, tais como massa de alimentação de densidade aparente está apresentada na tabela 2.

Minério	Massa para alimentação do moinho (g)	Densidade Aparente (g/cm ³)
Mármore	1134,00	1,622
Feldspato	1132,00	1,671

Figura 5 - Massa dos minérios de feldspato e mármore. **Fonte:** AUTORES.

A figura 5 apresenta as curvas de distribuições granulométricas das alimentações do moinho de bolas para mármore e feldspato, com vista à determinação do WI.

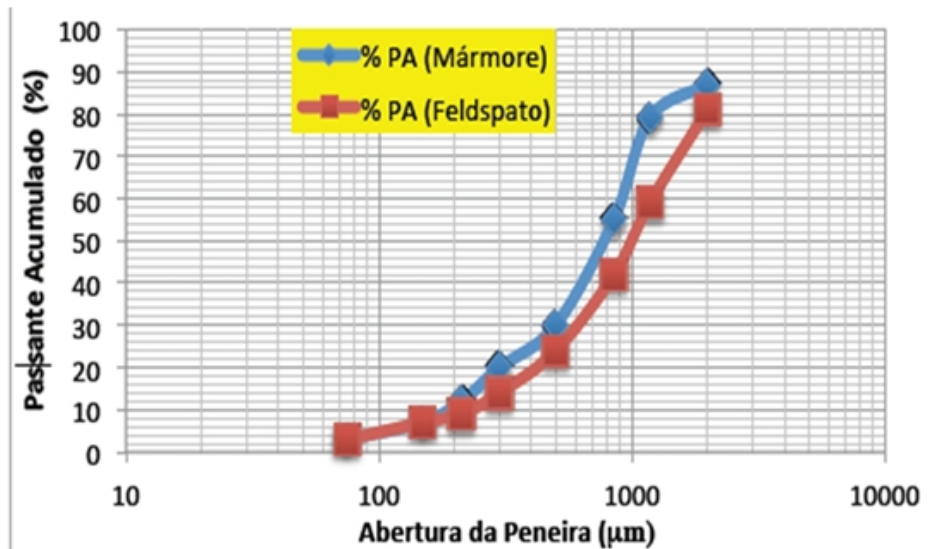


Figura 6 - Distribuição granulométrica das alimentações do moinho de bolas, para a determinação do WI. **Fonte:** AUTORES.

Observando a figura 6, nota-se que para o mármore e feldspato os F80 são respectivamente, 1300 µm e 2000 µm. O teste do WI tem como objetivo calcular, através de um circuito fechado de moagem, com uma determinada carga circulante, a quantidade de produto menor do que a malha teste, produzido por um número calculado de rotações do moinho em períodos consecutivos. A figura 7 apresenta o fluxograma para esta operação, onde M é a alimentação, Z é a carga circulante, Y é o produto e X é a alimentação nova.



Figura 7 - Circuito fechado de moagem para a determinação da moabilidade. **Fonte:** Tratamento de minérios: Práticas laboratoriais (2007).

Minério	Alimentação do moinho(g)	Carga circulante (g)	Produto em Regime (g)
Mármore	1134,00	810,00	324,00
Feldspato	1132,00	808,58	323,42

Figura 8 - Carga circulante dos minérios fedspato e mármore.. **Fonte:** AUTORES.

A carga circulante normalmente utilizada é de 250%, assim deseja-se conhecer o número de rotações para gerar um produto igual à alimentação dividido por 3,5 que normalmente é realizado até o sistema entrar em regime. A tabela 3 apresenta os resultados da carga circulante.

Estes dados são substituídos na equação 2 ou na equação 3.

$$WI = 1,6 (PI)^{0,5} (Gbp)^{-0,82}$$

$$WI = \frac{44,5}{(PI)^{0,23} \times (Gdp)^{0,82} \left(\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}}\right)}$$

Figura 9 - Equações (2) e (3).. **Fonte:** Tratamento de minérios: Práticas laboratoriais (2007).

Onde, PI é a abertura da malha teste (em µm) Gbp é a moabilidade (g/rotações).

Os valores de WI apresentados na literatura para os minérios de mármore e feldspato foram 4,1- kWh/t (Doring International, 2018) e 12,84 kWh/t (Beraldo, 1987), respectivamente. O processo construtivo do equipamento com a inclusão de elementos de automação industrial eleva o nível de formação dos recursos humanos, bem como disponibiliza equipamento importante para o dimensionamento de moinhos em escala industrial com custo muito inferior ao disponibilizado no mercado.

Considerações finais

O equipamento construído está apto à realização de ensaios de Work Index, assim este passa a incluir nas aulas práticas ofertadas pelo Laboratório de Tecnologia Mineral para a formação de recursos humanos, como também ao atendimento das demandas do setor mineral para a determinação do WI.

Apoio

Diretória de Pesquisa do Campus Natal Central do Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Agradecimento

Gostaria de expressar nosso agradecimento a Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação do IFRN e o CNPq pela concessão das bolsas de Iniciação Científica

Referências:

Beraldo, J. L.. **Moagem de minérios em moinhos tubulares**. São Paulo: Edgard Blucher, 1987.

Carla Napoli Barbatto, João Alves Sampaio. Determinação experimental do índice de trabalho (WI). 10 Cap. p. 179 - 189. SAMPAIO João Alves, FRANÇA Sílvia Cristina Alves, BRAGA Paulo Fernando Almeida. **Tratamento de minérios** : Práticas laboratórias. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

GOMES W. L. H., Jatobá, T. L. A., Hajj, T. M.. Método para simulação de moagem em moinho de bolas. **HOLOS** , 3 v. p. 133 - 140. 2014. DOI 10.15628/holos.2014.1782 . Disponível em: <<https://doi.org/10.15628/holos.2014.1782>>. Acesso em: Julho 2018.

Gomide, R.. **Operações Unitárias**: 10 Volume - Operações com Sistemas Granulares. São Paulo: Edição do Autor, 1983.

Karra Ram Chandar, Subodh N. Deo, Ashwin J. Baliga. **Prediction of Bond's work index from field measurable rock properties** : International Journal of Mineral Processing . Amsterdã: Elsevier, 10 Dezembro, 2016. DOI 10.1016/j.minpro.2016.10.006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.10.006>>. Acesso em: Julho 2018.

Leite, J. Y. P.. **Apostila de Cominuição**.. IFRN, Natal: Edição do Autor, 2006.

Metso Minerals. **Manual de Britagem**. São Paulo: Metso Minerals, 2005.

Wills, B. A. **Mineral Processing Technology**: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery,. Oxford: Elsevier Science & Technology Books , 2006. ISBN 0750644508 .