

Guia de determinação do work index de moinho de bolas

Balls mill work index determination guide

Guía de determinación de lo work index del molino de bolas

Recebido: 26/07/2023 | Revisado: 08/08/2023 | Aceitado: 10/08/2023 | Publicado: 14/08/2023

Vladmir Kronemberger Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7320-3384>

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

E-mail: vladmir.alves@ufop.edu.br

Gabriel Gava de Castro

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7828-7252>

Samarco Mineração, Brasil

E-mail: gabriel.gava@samarco.com

Vanessa Luiza Thums

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0417-8914>

Vale S.A., Brasil

E-mail: vanessa.luiza.thums@vale.com

Resumo

A etapa de cominuição é uma das principais fontes de gasto energético em uma planta de processamento mineral e tem como objetivo a redução do minério em tamanho suficiente para viabilizar os processos subsequentes de beneficiamento mineral. O consumo energético operacional desta etapa podem ser estimados em laboratório, a partir de uma amostra, por procedimentos padronizados. O índice de trabalho (WI) é um dos métodos usados para que haja uma previsão de gasto de energia e seja possível o “scale up” do circuito de moagem. Este trabalho tem como objetivo descrever a metodologia para determinação do índice de trabalho pelo ensaio de moinho de bolas através da teoria de Bond, incluindo os ajustes que ocorreram ao longo dos anos, tendo em vista a disseminação e aplicação dessa metodologia de análise de processos de moagem em escala industrial. Este estudo foi dividido em duas etapas: uma teórica com a revisão bibliográfica do método de bancada para determinação do BWI pela teoria de Bond e uma etapa prática com a execução do ensaio em moinho de bolas no Laboratório de Processamento Mineral da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), utilizando o software VKA WI para os cálculos.

Palavras-chave: Bond; Moinho; Bolas; WI; Procedimento; Software VKA WI.

Abstract

The comminution stage is one of the main sources of energy consumption in the mineral processing plant and its objective is to reduce the ore to a sufficient size to enable the subsequent beneficiation processes. The operational costs of this step can be measured in laboratory by scientific formulas using a sample. The work index (WI) is a method used to forecast the energy consumption in the ore comminution and make it possible to scale up. This work aims to present the methodology for determining the work index by the ball-mill test through Bond's theory in view of the dissemination of this analysis methodology for industrial processes. This study has a theoretical stage with a bibliographic review on the method of applying the BWI determination by Bond's theory and a practical stage with the execution of the ball-mill test in the Mineral Processing Laboratory at Federal University of Ouro Preto (UFOP), using VKA WI software.

Keywords: Bond; Mill; Ball; WI; Procedure; Software VKA WI.

Resumen

La etapa de trituración es una de las principales fuentes de gasto energético en la planta de procesamiento de minerales y su objetivo es reducir el mineral a un tamaño suficiente para permitir los procesos de beneficio posteriores. Los costos operativos de este paso se pueden estimar en el laboratorio, a partir de una muestra, utilizando fórmulas científicas. El índice de trabajo (WI) es uno de los métodos utilizados para predecir el gasto de energía y permitir escalar el circuito de molienda. Este trabajo tiene como objetivo presentar la metodología para la determinación del índice de trabajo por la prueba del molino de bolas a través de la teoría de Bond, en vista de la difusión de esta metodología de análisis para procesos. Este estudio se realizó en una etapa teórica con revisión bibliográfica sobre el método de aplicación de la determinación del BWI por la teoría de Bond y una etapa práctica con la ejecución del ensayo de molino de bolas en el Laboratorio de Procesamiento de Minerales de la Universidad Federal de Ouro Preto (UFOP), utilizando el software VKA WI.

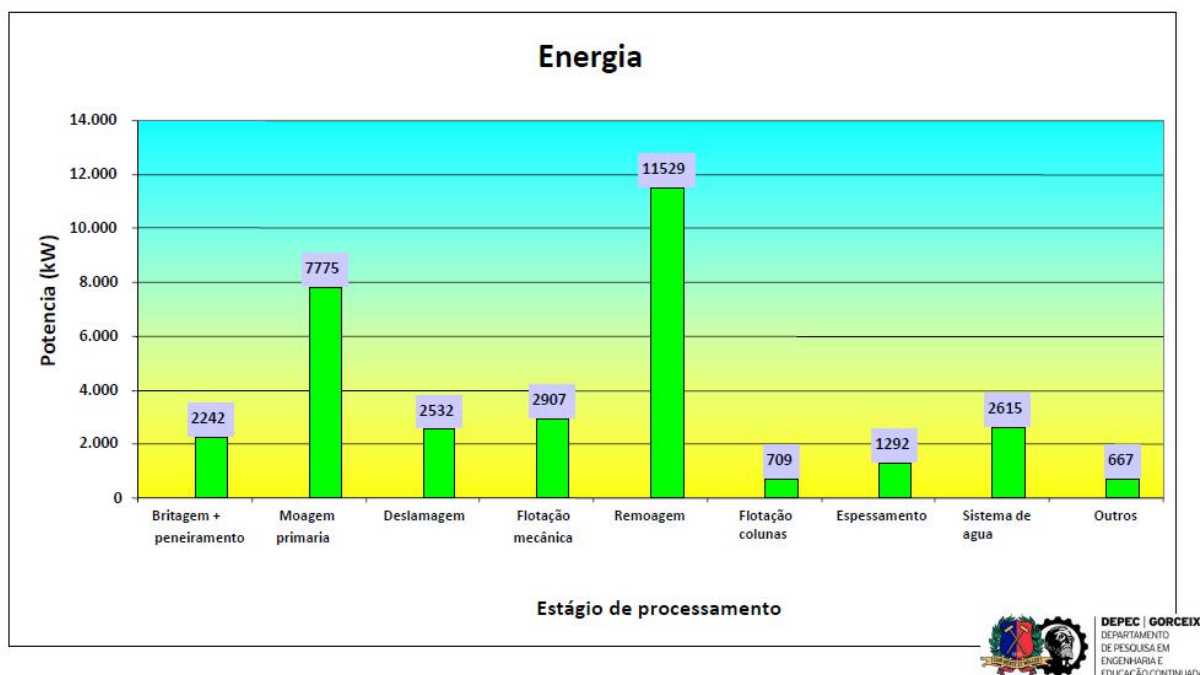
Palabras clave: Bond; Molino; Bolas; WI; Procedimiento; Software VKA WI.

1. Introdução

Ao se dimensionar um circuito industrial de moagem, é necessária a utilização de ensaios em escala de bancada realizados em amostras com o objetivo de prever os recursos necessários para cominuir o minério, sem que haja gastos excessivos Rowland (2006). Um dos métodos que estima o consumo energético de um minério na etapa de cominuição é o teste de Bond de BWI (Work Index de Bond para moagem de bolas). O BWI representa a energia necessária para se moer uma tonelada de uma amostra até uma distribuição granulométrica em que 80% sejam passante em uma malha de 150 μm Bond (1961).

As etapas de moagem podem representar entre 60% e 80% do consumo energético de uma planta de processamento mineral, como é possível ver no trabalho realizado por Drummond (2020) na Figura 1.

Figura 1 - Potência consumida em cada etapa do processo de beneficiamento mineral.



Fonte: Drummond (2020).

Dessa forma, é muito importante que o WI medido em escala de laboratório seja aderente ao WI industrial para que não haja falta de energia para cominuir o minério, ou excesso, encarecendo o projeto e os custos de produção como um todo.

Este trabalho tem como objetivo descrever de forma detalhada o procedimento para ensaio de WI de Bond para moinhos de bolas (BWI), a fim de facilitar o entendimento de cada etapa. Será possível após a leitura deste texto que qualquer pessoa possa realizar o ensaio e obter um resultado plausível para o consumo energético previsto pelo BWI de forma simples e direta.

2. Metodologia

O ensaio é descrito com base na teoria de Fred Bond apresentado em Bond (1952) e complementado e corrigido em referências mais atuais como em Alves (2007), Ferreira et al (2015), Nikolic e Trumic (2021), Nikolic et al (2022) e Silva (2022).

2.1 Equipamentos e Materiais

Para a execução do ensaio coletou-se uma amostra de aproximadamente 20kg de minério que foi submetida a cominuição no moinho de dimensões padronizadas para o teste no Laboratório de Tratamento de Minérios do Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), apresentado na Figura 2.

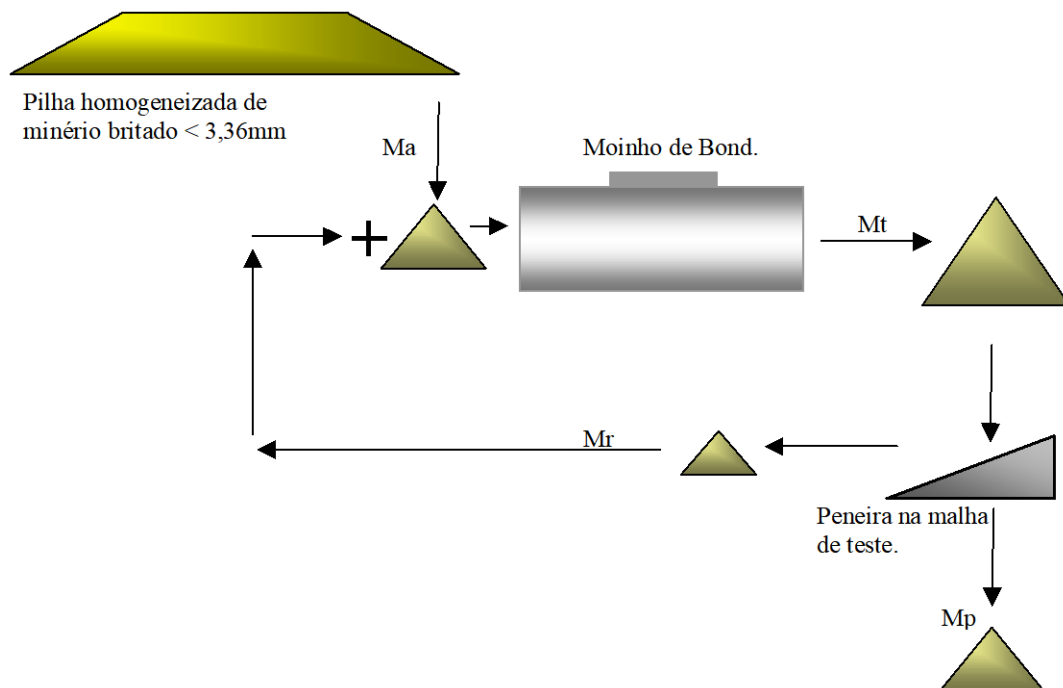
Figura 2 - Moinho de bolas de Bond do laboratório do DEMIN, UFOP.



Fonte: Autores.

O moinho de bolas utilizado no teste deve apresentar condições constantes de velocidade e carga de bolas em um circuito fechado até atingir uma carga circulante de 250% Bond e Maxson (1938), Figura 3. O moinho de bolas padrão do ensaio de Bond é cilíndrico com dimensões de 12" x 12" (diâmetro x comprimento internos) com paredes lisas e com velocidade de rotação constante de 70 rpm, com uma carga de 285 bolas de ferro pesando 20,125g, variando de 15,9 mm até 36,5 mm de diâmetro com a distribuição indicada no Quadro 1 (ABNT, 1990).

Figura 3 - Ensaio de BWI representado de forma esquemática.



Fonte: Autores.

Quadro 1 Distribuição dos diâmetros das bolas da carga moedora.

Número de bolas	Diâmetro (mm)
43	36,5
67	30,2
10	25,4
71	19,1
94	15,9

Fonte: ABNT (1990).

A ABNT MB-3253, registrada no INMETRO como NBR 11376 apresenta algumas sugestões para melhor uso do moinho e performance do ensaio como as indicadas abaixo:

- 1) “deve-se atentar ao balanceamento do moinho devido ao peso diferenciado dado pela tampa e demais acessórios de fechamento;
- 2) não há necessidade de revestimento ou polimento do moinho na parte interna ou externa;
- 3) sugere-se uma camada de borracha na tampa do moinho para evitar a perda de finos;
- 4) recomenda-se que o moinho seja construído com material de espessura entre 10 e 18 mm.”
- 5) Além das recomendações acima, Alves (2007) recomenda que o moinho seja fabricado com aço ASTM-A36 e se utilize peneirador Ro-Tap para fechar os ciclos do ensaio de bancada.
- 6) O peneiramento na malha teste (Am) deve ser realizado a seco, caso Am tenha uma abertura igual ou inferior a 75 μ m o peneiramento deve ser realizado a úmido, neste caso, logo após a massa retida deve ser seca em estufa e retornada para continuidade dos testes.
- 7) Segundo os estudos realizados por Silva (2022) os autores recomendam: sempre que a amostra a ser testada possua uma porcentagem passante inicial na malha de teste (Mpi1) igual ou superior a 20%, iniciar o primeiro ciclo com 5 rotações, caso contrário iniciar com 100 rotações. O software VKA WI realiza essa recomendação automaticamente.

2.2 Preparação da amostra e padrões de execução do ensaio

A norma ABNT NBR ISO 3082:2019 padroniza o sistema de amostragem e preparação de amostra visando garantir confiabilidade do ensaio. Para melhor trabalhabilidade recomenda-se que a amostra seja seca em estufa para posterior britagem até passar totalmente na malha 3360 μ m, com a menor geração de finos, conforme descrito por Alves (2007) logo após, homogeneizar em pilha alongada (P1).

Coletar uma amostra de P1 e preencher uma proveta de 1L até 700ml. Compactar levemente o material, batendo o fundo da proveta em uma superfície de borracha três vezes e completar novamente o volume até 700 ml. Pesas o conjunto proveta e minério e desconsiderar o peso da proveta. Realizar este procedimento mais duas vezes e calcular a média dos três valores. O valor médio encontrado será a massa utilizada no ensaio (Mt) em gramas.

Fazer a caracterização granulométrica do minério coletando uma amostra de P1 de acordo com a norma ABNT NBR ISO 4701:2020 e a partir do cálculo do percentual passante, determinar a abertura da peneira onde 80% da massa da alimentação é passante (A80), o software VKA WI faz este cálculo automaticamente utilizando técnicas de interpolação matemática. Recomenda-se que a granulometria seja definida por peneiramento a seco.

Calcular a massa de alimentação necessária para atingir uma carga circulante de 250%, igual a $Mt/3,5$ (Aar).

É necessário definir a abertura da malha teste (Am) que normalmente é aquela que irá obter um produto passante com mesmo P80 desejado no circuito de moagem industrial. Quando não é possível esta definição, é recomendado utilizar a abertura

da peneira 150 µm. Após definida a abertura de classificação, determinar a massa passante em Am que será o passante inicial do primeiro ciclo (Mpi1).

Para o primeiro ciclo, a NBR recomenda definir o número de rotações de acordo com as características do minério obtida pela caracterização granulométrica, como por exemplo com 100 ou 200 rotações. Entretanto, conforme Silva (2022), para minérios com elevado percentual de finos (mais de 20% passante na malha de teste) há incertezas quanto ao número de rotações do primeiro ciclo ou quanto à escolha da malha teste e como essas definições podem influenciar no resultado do ensaio, neste caso deve-se considerar outro método para a definição baseado nos parâmetros definidos no início do ensaio, como apresentado na Equação 1 e na Equação 2.

$$EGPR^{0,82} = \frac{1,1 \times 44,5}{Am^{0,22} \times EBWI \times 10 \times \left(\frac{1}{\sqrt{P80}} - \frac{1}{\sqrt{A80}} \right)} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde

EGPR: valor estimado de GPR (Gramas Por Rotação) ao fim no ensaio.

EBWI: BWI estimado para o tipo de minério testado;

A80: abertura da peneira onde 80% da massa da alimentação é passante;

P80: P80 estimado para o minério testado. De acordo com Schneider et al (2013) e Duque et al (2014) o valor de P80 se correlaciona com a malha teste (Am) da seguinte maneira:

$$P80 = \frac{Am}{\sqrt{2}} = 0,707 Am \quad (\text{Equação 1.1})$$

O EGRP é obtido a partir da carga circulante igual a 250% na massa de alimentação do moinho (Mt) e na fração passante inicial (FPI), conforme Equação 2.

$$NIR = \frac{\frac{Mt}{3,5} \times (1 - FPI)}{EGPR} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

NIR: número de rotações iniciais;

Mt: massa de alimentação do moinho;

FPI: fração passante inicial na malha de teste;

EGPR: valor estimado de Mob (Gramas Por Rotação) ao fim no ensaio.

Como pode ser observado acima, é necessário se ter uma estimativa prévia do valor do BWI, o que nem sempre é possível. Os estudos realizados por Silva (2022) mostraram que: quanto a amostra a ser testada apresente uma porcentagem inicial passante na malha de teste (Mpi1) igual ou superior a 20%, iniciando-se o primeiro ciclo com 5 revoluções, os resultados obtidos em laboratório são mais próximos dos valores de BWI observados em circuitos industriais.

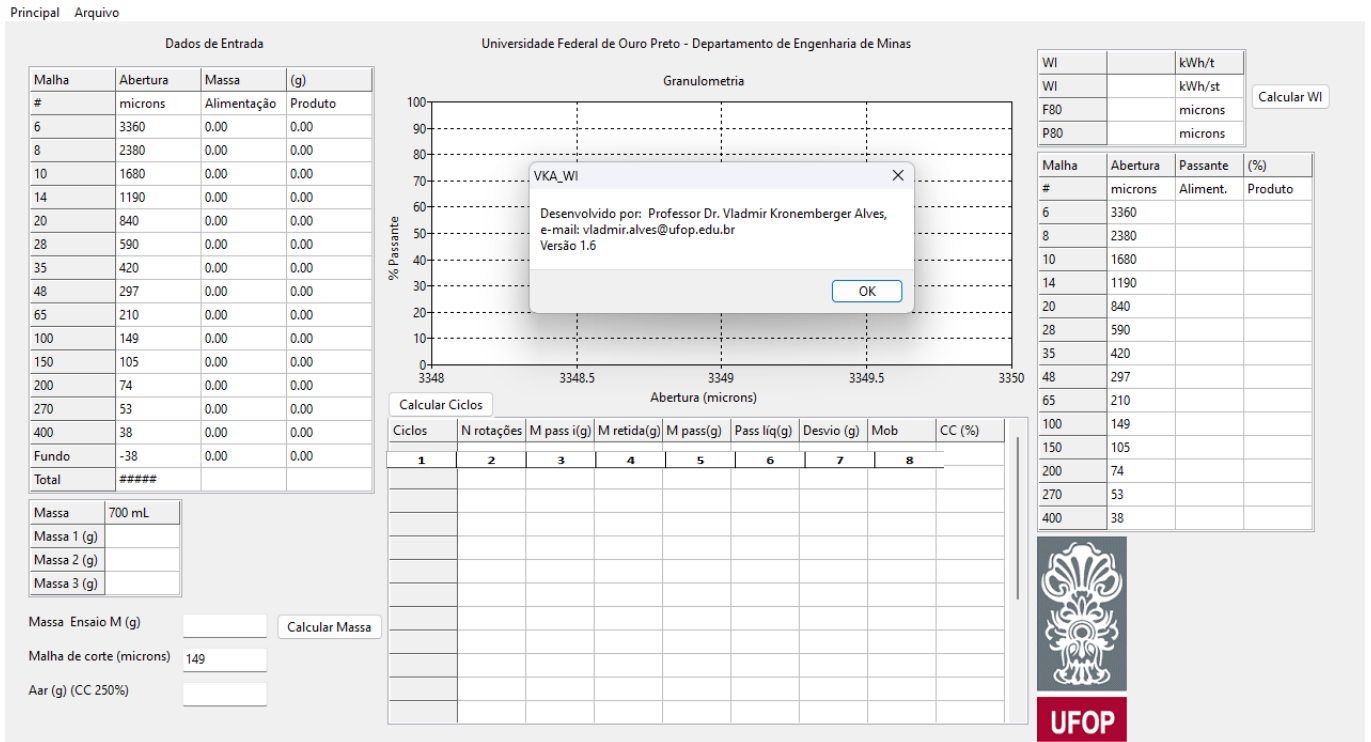
Em resumo: caso a porcentagem passante em Am seja igual ou maior que 20% o número de rotações do primeiro ciclo deve ser de 5, caso contrário, o número de rotações do primeiro ciclo deve ser de 100.

2.3 Execução do ensaio

Para a execução do ensaio é sugerido um software a ser utilizado para os cálculos de cada ciclo executado e a sequência das etapas conforme apresentado na Figura 4. Abaixo é apresentado a tela do software VKA WI desenvolvido para realização

de BWI em escala de laboratório. Pode-se observar que na tela do software VKA WI todos as informações necessárias para execução do ensaio de BWI estão disponíveis, auxiliando o operador na realização do ensaio.

Figura 4 - Software VKA WI.



Fonte: Autores.

2.3.1 Primeiro ciclo

Para iniciar o primeiro ciclo do ensaio de BWI, são inseridas no moinho as bolas listadas no Quadro 1 e o minério de massa M_t coletado de P1. A quantidade de minério será referente ao valor da massa M_t calculada, o software VKA WI realiza estes cálculos baseados nos pesos das três amostras de 700 ml determinadas como descrito anteriormente.

Após o primeiro ciclo de rotações, deve-se descarregar o moinho e peneirar o minério na malha de abertura A_m definida, com o uso de peneira de alívio com abertura maior que A_m . Com isso, será possível determinar a massa retida em A_m (M_r) indicada na coluna 4 da Figura 3. A massa do minério passante (coluna 5) (M_{p1}) é calculada pela diferença de $M_t - M_r$, esta é alimentação a ser acrescentada para o próximo ciclo. O minério passante na malha A_m deve ser descartado, com exceção do último ciclo.

Para calcular o passante líquido gerado no ciclo (coluna 6) deve-se subtrair M_{p1} (coluna 3) da M_{p1} (coluna 5). O desvio de cada ciclo (coluna 7) é definido pela diferença entre o valor da massa passante, M_{p1} , (coluna 5) e a massa necessária para carga circulante de 250% (A_{ar}).

Para determinar a moabilidade (Mob) do ensaio apresentado na coluna 8, deve-se dividir a quantidade líquida passante (coluna 6) pelo número de rotações (coluna 2). Este valor corresponde à massa (em gramas) passante em A_m gerada em cada rotação do moinho.

2.3.2 Ciclos subsequentes

Para dar início a um novo ciclo de rotações, a massa inicial do início do ensaio deve ser reestabelecida (Mt). Com isso, a massa retida do ciclo anterior (Mr) deve ser incrementada com minério da pilha alongada P1 até o peso Mt.

O valor de $Mp1(i+1)$ (coluna 3) a partir do segundo ciclo, é definido pelo $Mp1(i)$ do ciclo anterior multiplicado pelo percentual passante na malha teste da amostra inicial do minério. Pode-se também realizar uma nova análise granulométrica da amostra do minério e considerar o percentual passante na malha teste para preenchimento da coluna 3.

O número de rotações (coluna 2) para os ciclos seguintes é calculado pela Equação 3.

$$Nr_{(i+1)} = \frac{Aar - Mp1_{(i+1)}}{Mob_{(i)}} \text{ (Equação 3)}$$

Para dar continuidade ao ensaio, carregar novamente o moinho e proceder à moagem com o número de rotações calculado. Todas as operações descritas no item 2.3.1 e 2.3.2 devem ser repetidas para o cálculo dos parâmetros da Figura 4 a cada ciclo, até que um dos critérios de paralisação seja atingido.

Após a paralisação, a massa passante no último ciclo deve ser submetida a uma nova análise granulométrica para determinar o P80, valor correspondente a abertura da peneira onde se passam 80% da massa do minério.

2.3.3 Critérios de paralisação do ensaio

De acordo com Bond (1952) e ABNT (1990) o ensaio de BWI deve ser executado em ciclos até atingir um dos dois critérios de paralisação:

- 1) Os valores do desvio (coluna 7) invertam a tendência de crescimento ou decréscimo em três ciclos;
- 2) Os valores de moabilidade (coluna 8) estejam em equilíbrio, que é dado pela média aritmética dos três últimos valores de Mob, não devendo a diferença entre o maior e o menor valor serem superiores a 3% do valor médio encontrado.

2.4 Cálculo do BWI

Após paralisação do ensaio, o BWI é calculado pela Equação 4 (Bond, 1952).

$$BWI = \frac{44,5}{Am^{0,23} \times Mob^{0,92} \times 10(P80^{-0,5} \times A80^{-0,5})} \times 1,1 \text{ (Equação 4)}$$

Onde:

BWI: Work Index para moinho de bolas (kWh/t);

Am: abertura da malha de classificação do ensaio (μm);

P80: abertura da peneira por onde passam 80% do passante em Am do último ciclo (μm);

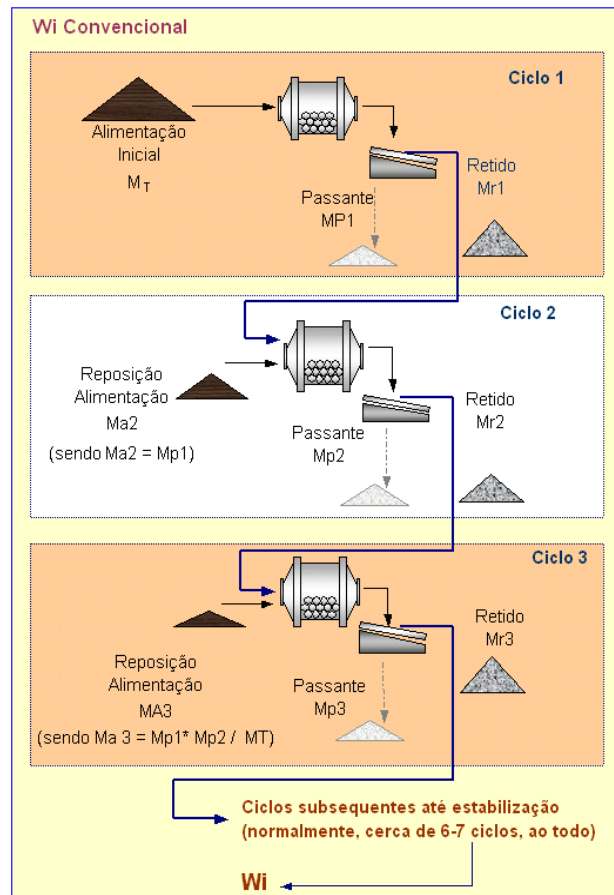
A80: abertura da peneira por onde passam 80% da alimentação (μm);

Mob: média dos três últimos valores da moabilidade (g/rotação);

1,1: fator de conversão de tonelada curta para tonelada métrica.

As Figuras 3 e 5 representam de forma esquemática o ensaio de BWI de Bond.

Figura 5 - Ciclos do ensaio de BWI representados de forma esquemática.



Fonte: Autores.

Na Figura 5 é apresentada a execução dos ensaios de BWI até o terceiro ciclo, após a moagem de cada ciclo o material é peneirado a seco em Am, o passante é descartado e a massa retida em Am é digitada na tela do software VKA WI para os cálculos do próximo ciclo e é acrescentada uma alíquota coletada de P1 na massa retida em Am até completar a massa M_t para continuidade do ensaio.

3. Revisão Bibliográfica

A execução dos ensaios para determinação do BWI descrita neste trabalho foi baseada nas metodologias publicadas por Fred C. Bond em Bond (1952) e Bond (1961), na releitura da norma brasileira MB-3253 e em referências complementares apresentadas em Alves (2007) e Silva (2022).

O ensaio de determinação do índice de trabalho no moinho de bolas de Bond foi desenvolvido por Fred Bond e publicado em 1952 em Bond (1952) e foi modificado e ajustado com fatores de correção em diversas publicações posteriores como em Alves (2007), Ferreira et al (2015), Nikolic e Trumic (2021), Nikolic et al (2022) e Silva (2022). Desde seu desenvolvimento o método de Bond para dimensionamento de moinhos vem sendo largamente utilizado na indústria da mineração. Entretanto, o ensaio de Bond é complexo, necessita de uma grande quantidade de material e demanda um tempo elevado para sua execução, devido a estes fatos, ao longo dos anos diferentes autores procuram a simplificação do teste, como proposto em Yap et al (1982), Alves e Schneider (2010) e Alves et al (2013), o método de WI de Anaconda e Rodrigues-Torres et al (2023).

De acordo com Duque (2014), Rowland era engenheiro e atuava em conjunto com o Bond nos projetos de plantas de britagem e moagem e foi influente com publicações técnicas aprimorando o método de Bond, sendo uma de suas principais

contribuições, a afirmação que o BWI deve ser medido na malha de teste que reflete a granulometria desejada no produto do moinho que está sendo escalonado, colocando um fim na existência de um BWI medido em uma malha de teste padrão, considerada pela peneira de abertura 150 μm .

A Associação Brasileira de Normas Técnicas estabeleceu em 1990 uma norma visando a padronização da execução dos testes de BWI Bond que é a MB-3253, registrada no INMETRO como NBR 11376.

4. Resultados e Discussão

Para execução do ensaio foi utilizada uma amostra de aproximadamente 20 kg de minério. A média das três medidas em peso do minério testado no volume 700ml resultou em 1096,00g, massa utilizada para execução do ensaio de BWI (Mt).

No Quadro 2, pode-se observar a distribuição granulométrica deste material britado abaixo de 3360 μm :

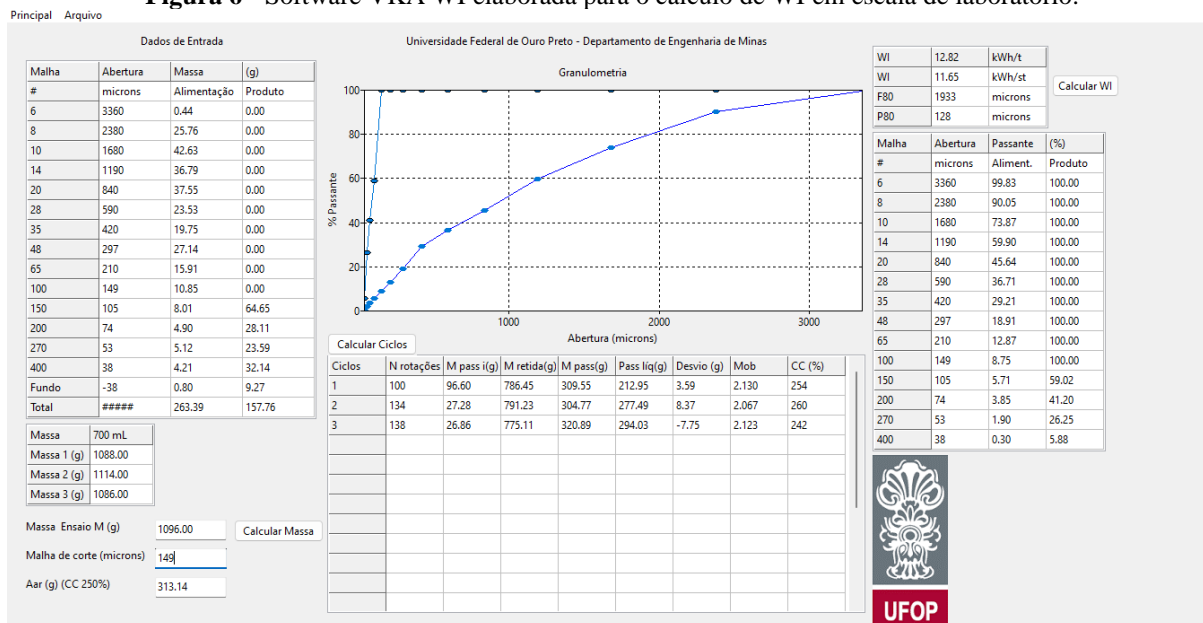
Quadro 2 - Distribuição granulometria da amostra utilizada no ensaio de BWI.

Malha	Abertura	Passante
#	microns	Aliment.
6	3360	99.83
8	2380	90.05
10	1680	73.87
14	1190	59.90
20	840	45.64
28	590	36.71
35	420	29.21
48	297	18.91
65	210	12.87
100	149	8.75
150	105	5.71
200	74	3.85
270	53	1.90
400	38	0.30

Fonte: Autores.

Pode-se observar no Quadro 2 que o minério testado possui uma baixa porcentagem de material passante na malha de teste (149 μm). Por interpolação, o software VKA WI calculou-se o F80 (1933 μm). As massas passantes em cada ciclo e, portanto, de alimentação nova a integrarem o retido para o ciclo seguinte foram calculadas. Na Figura 6, na coluna 5, é possível visualizar estes resultados obtidos.

Figura 6 - Software VKA WI elaborada para o cálculo de WI em escala de laboratório.



Fonte: Autores.

O teste finalizou em três ciclos com uma carga circulante de aproximadamente 250%, como pode ser observado na Figura 6. Após a finalização do terceiro ciclo, peneirou-se o passante na malha teste (149 μm), obtendo-se a curva granulométrica representada na Figura 6. Novamente, por interpolação, o software VKA WI calculou o P80 (128 μm).

Por fim, o software VKA WI calculou o BWI de Bond (Equação 4) para o minério testado, cujo resultado foi 12,82 kWh/t.

5. Considerações Finais

Os procedimentos aqui apresentados seguem os estudos de Bond para cálculo de BWI, além de estudos mais recentes que mostram ajustes no teste de Bond para materiais com percentual elevado de finos. Os mesmos propiciam resultados mais próximos do obtido industrialmente. Os procedimentos estão apresentados de forma que qualquer indivíduo é capaz de realizar os testes e chegar ao resultado de BWI.

O software VKA WI incorpora todas as recomendações descritas neste trabalho e se mostrou adequado para apoio na execução dos ensaios de BWI em escala de laboratório, facilitando os cálculos e simplificando a realização dos trabalhos do operador.

Por fim, foi demonstrado na prática que o procedimento proporcionou um resultado de BWI igual a 12,82 kWh/t para o minério testado. Este trabalho fica, por conseguinte, como procedimento a ser utilizado na indústria e para ministrar aulas. Para trabalhos futuros, indica-se o detalhamento de procedimentos para determinação de WI com especificidades, assim como foi feito para minérios com uma quantidade elevada de finos.

Referências

- Alves, V. K. (2007) *Estudo de avaliação dos parâmetros que influenciam de maneira significativa nos resultados de ensaio de WI de Bond*. XXII ENTMMME / VII MSHMT. Ouro Preto-MG.
- Alves, V. K., & Schneider, C. L. (2010) *Application of the Anaconda simplified work index for multiple test sizes*. XXV International Mineral Processing Congress (IMPC), Brisbane, QLD, Australia, pp 565-570
- Alves, V. K., Mazzinghy, D. B., Rosa, N. A. M., Mendonça, M. A., Machado, L. C. R., Oliveira, D. O. G. & Souza, G. M. (2013). *Aplicação de método*

- simplificado de determinação de WI na previsão de desempenho dos moinhos de bolas da usina do sossego*. Tecnol. Metal. Mater. Miner. 10(4), 318-323.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1990) MB-3253. *Moinhos de bolas - Determinação do Índice de Trabalho - Método de ensaio*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019). NBR ISO 3082. *Minérios de ferro - Procedimentos de amostragem e preparação de amostra*. Rio de Janeiro, terceira edição.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). NBR ISO 4701. *Minérios de ferro e pré-reduzidos - Determinação da distribuição granulométrica por peneiramento*. Rio de Janeiro. Terceira edição.
- Bond, F. C., & Maxson, W. L. (1938) "Grindability and Grinding Characteristics of Ores". Publicação técnica nº 888, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers.
- Bond, F. C. (1952). "Three Principles of Comminution", A.I.M.E. Transc. Mining Engineering. 193-484.
- Bond, F. C. (1961). "Crushing and Grinding Calculations – Part I". British Chemical Engineering. 6(6), 378-385.
- Bond, F. C. (1961) "Crushing and Grinding Calculations – Part II". British Chemical Engineering. 6(8), 543-548.
- Drummond, M. A. R. (2020). "Conceitos Básicos Beneficiamento Mineral." DEPEC - Fundação Gorceix, Ouro Preto.
- Duque, T. F. M. B., Schneider, C. L., Mazzinghy, D. B. & Alves, V. K. (2014). *BWI em função da malha teste*. HOLOS, Ano 30 - Edição Especial - XXV ENTMME / VII MSHNT. (3).
- Ferreira, K. C. Galery, R., Montenegro, L. C. M. & Peres, A. E. A. (2015). *Efeito do escalpe no work index de Bond*. HOLOS, 7, 59-64
- Nikolic, V., Trumic, M. (2021). *A new approach to the calculation of Bond work index for finer samples*. Minerals Engineering, 165 (2021)
- Nikolic, V., Doll, A. & Trumic, M. (2022) *A new methodology to obtain a corrected Bond ball mill work index valid with non-standard feed size*. Minerals Engineering, 188 (2022)
- Rodríguez-Torres, I., Tuzcu, E. T., Andrade-Martínez, J., & Rosales-Marín, G. (2023) *Estimation methodology for Bond ball mill work index experiment output via mathematical modeling*. Minerals Engineering, 201 (2023)
- Rowland, C. A. (2006). *Bond's method for selection of ball mills*. In: Advances in Comminution. Kawatra, S.K. (editor), SME, Littleton, 385-397.
- Schneider, C. L., Brasil, T. F. M., Mazzinghy, D. B. & Alves, V. K. (2013) *Sobre a medição do BWI*. XXV ENTMME & VIII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology, Goiania – GO. 515-523
- Silva, G. M. B. (2022). *Comparação de Diferentes Metodologias do Ensaio de Wi Bond para Moinhos de Bolas utilizando Amostra com Elevada Quantidade de Finos*. Monografia. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Yap, R. F., Sepulveda, J. W. & Juaregui, R. (1982). *Determination of the Bond Work Index Using an Ordinary Laboratory Batch Mill*. In: *Design and Installation of Comminution Circuits*.