

APLICAÇÃO DE MÉTODO SIMPLIFICADO DE DETERMINAÇÃO DE WI NA PREVISÃO DE DESEMPENHO DOS MOINHOS DE BOLAS DA USINA DO SOSSEGO

Vladmir Kronemberger Alves ¹
Douglas Batista Mazzinghy ²
Marco Antônio Nankran Rosa ³
Anderson Miranda Mendonça ³
Luis Clauzio de Renno Machado ⁴
Geovan Olavo Damasio de Oliveira ⁵
Marlon Gonçalves de Souza ⁵

Resumo

Ao longo dos anos a Vale S.A. desenvolveu uma metodologia para escalonamento de circuitos industriais que vem sendo constantemente aprimorada e implantada no desenvolvimento de novas rotas de processos e otimização de circuitos em operação. Neste trabalho será dado um enfoque na metodologia da Vale S.A. para levantamento de Work Index de bolas simplificado (WI Anaconda) e aplicação no planejamento de produção dos moinhos de bolas da Usina do Sossego. A grande vantagem desta metodologia é a redução do tempo e massa para determinação do consumo energético em moinhos de bolas, cujos valores podem ser utilizados em estudos de variabilidade, geometurgia e dimensionamento e controle de circuitos de moagem industriais.

Palavras-chave: Moagem de bolas; Work Index simplificado; Escalonamento; Previsão de desempenho; Vale S.A.

APPLICATION OF SIMPLIFIED METHOD FOR DETERMINING THE WI TO PREDICT THE PERFORMANCE OF BALLS MILLS IN SOSSEGO PLANT

Abstract

Over the years Vale S.A. has developed a methodology for scaling industrial comminution circuit that is being constantly improved and implemented in developing new routes and process optimization of circuits in operation. This work will be given a focus on the methodology of simplified balls mill Work Index (WI Anaconda) in performance prediction of Sossego Plant ball mill. The great advantage of this methodology is to reduce the time and weight to determine the energy consumption in ball mills, whose values can be used in studies of variability, geometurgy and design and control of industrial grinding circuits.

Keywords: Ball mill; Simplified work index; Scale up; Performance prediction; Vale S.A.

¹Engenheiro de Minas, Doutor, Centro de Desenvolvimento Mineral, Vale S.A., Santa Luzia, MG, Brasil. E-mail: vladmir.alves@vale.com

²Engenheiro de Minas, Doutor, Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil. E-mail: douglasmazzinghy@ufmg.br

³Engenheiro de Minas, Gerência do Cobre, Mina Sossego, Vale S.A., Canaã dos Carajás, PA, Brasil. E-mail: marco.nankran@vale.com; anderson.miranda@vale.com

⁴Engenheiro de Minas, Doutor, Gerência do Cobre, Mina Sossego, Vale S.A., Canaã dos Carajás, PA, Brasil. E-mail: luiz.machado@vale.com

⁵Técnico em Mineração, Gerência do Cobre, Mina Sossego, Vale S.A., Canaã dos Carajás, PA, Brasil. E-mail: geovan.oliveira@vale.com; marlon.souza@vale.com

1 INTRODUÇÃO

Ao logo dos anos a Vale S. A. desenvolveu uma metodologia para dimensionamento de circuitos de cominuição que vem sendo implantada na definição de novos circuitos na fase de projeto FELI [1,2]. Neste trabalho será dado um enfoque na metodologia simplificada para determinação de consumo energético em circuitos de moinhos de bolas [3-5] que é uma etapa da metodologia completa da Vale S.A. para dimensionamento de novos circuitos.

Uma grande vantagem desta metodologia é pequena quantidade de amostra necessária e tempo reduzido de ensaio [3-5].

2 METODOLOGIA DA PLANTA DE SOSSEGO PARA DETERMINAÇÃO DE WI ANACONDA

A metodologia de ensaios de Work Index (WI) simplificado utilizada neste estudo foi à metodologia Anaconda [3-5], onde foi realizada a calibração de um moinho operando em condições previamente padronizadas com ensaios de WI de Bond [6] para diferentes amostras de minérios de cobre coletadas na mina do Sossego e posteriormente validada na previsão do desempenho do moinho de bolas da planta. O estudo consiste em calcular um índice operacional de trabalho a partir de ensaios em moinho de bancada que se supõem estarem diretamente relacionado ao WI padrão de Bond. Com este fator de calibração determinado pode-se esperar o mesmo desempenho para todos os minerais que serão posteriormente testados.

Como o WI proposto por Bond [6] consiste de um valor meramente comparativo, obtido em um moinho padronizado, o método Anaconda segue o mesmo princípio. Como os resultados obtidos por ambos os testes se relacionam com a resistência à cominuição do mineral, é esperado que exista uma correlação direta entre os valores de WI estimados através de ambos os métodos.

2.1 Descrição do Método

No estudo desenvolvido pela Vale S.A. foi utilizada a seguinte metodologia de preparações de amostra para alimentação dos ensaios Anaconda: todo material foi britado menor do que 8 mm e escalpada na malha de 0,150 mm. Uma vantagem de se utilizar amostras escalpadas é que a mesma se assemelha à carga do ensaio padrão de Bond na condição de estabilização, isto contribui para que a eficiência de moagem seja similar para ambos os testes.

O procedimento Anaconda proposto pela Vale S.A. na planta de Sossego utiliza o equipamento e condições descritos na Tabela 1.

Para o cálculo do WI foi utilizada a seguinte fórmula:

$$WI = \frac{A}{\left(\frac{1}{\sqrt{P80}} - \frac{1}{\sqrt{F80}} \right)} \quad (1)$$

O valor de A determinado seguindo a metodologia proposta por Alves & Schneider [3] e as condições descritas na Tabela 1 foi de 0,50.

3 ENSAIO DE BANCADA

A metodologia de WI Anaconda da Vale S.A. foi validada com mais de 480 minérios de diferentes depósitos e diferentes malhas de corte do WI de Bond [3]. No presente trabalho foram selecionadas 13 amostras de minério de cobre onde foram realizados ensaios de WI de Bond padrão e Anaconda conforme metodologia descrita anteriormente. Os resultados comparando as duas metodologias são apresentados na Figura 1.

Buscando-se validar esta metodologia para as amostras de minério de cobre da mina do Sossego da Vale S.A. foi realizada uma análise estatística utilizando-se a planilha de comparação estatísticas de duas populações, disponível no pacote *Moly Cop Tools* (Versão 3), os resultados são apresentados na Figura 2.

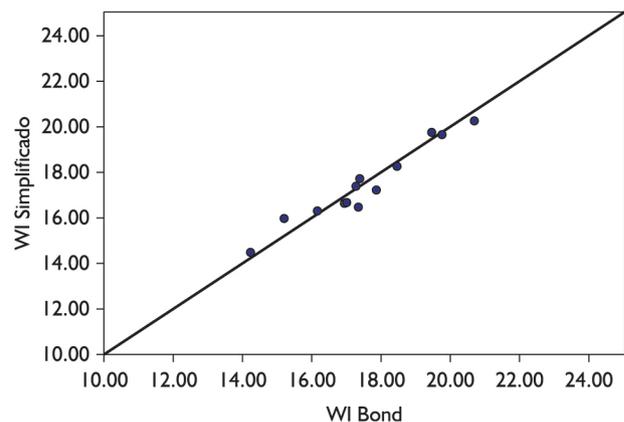


Figura 1. Comparação dos resultados de WI calculados pelo método padrão de Bond e Anaconda na malha 0,150 mm.

Tabela 1. Moinho utilizado nos ensaios Anaconda na Usina do Sossego

Condições do ensaio	Valores
Diâmetro do moinho (mm)	200
Comprimento do moinho (mm)	300
Diâmetro de bolas (mm)	25 e 20
Massa de bolas (g)	Bolas de 20 mm = 6.000
	Bolas de 25 mm = 4.000
Massa de água (g)	1.000
Massa de amostra (g)	1.000
Rotação do moinho (RPM)	45
Tempo de moagem (s)	600

Observando-se a Figura 2 pode-se notar que a hipótese foi aceita indicando que os resultados das duas metodologias são estatisticamente iguais, validando-se a metodologia de WI Anaconda para determinação do Work Index de moinhos bolas para os minérios de cobre da planta do Sossego da Vale S.A.

4 PREVISÃO DO DESEMPENHO DO CIRCUITO INDUSTRIAL

Visando prever o desempenho do moinho de bolas da planta do Sossego foi realizada uma campanha de amostragem no circuito industrial para fechamento de balanço de massas e realização de ensaios de WI de Bond e Anaconda com a mesma amostra coletada na alimentação do circuito.

Amostras foram obtidas em todos os fluxos para análise de densidade de polpa e análise granulométrica. Taxas de fluxo foram devidamente monitoradas durante a amostragem, verificando-se a condição de estado estacionário dos processos. Todas as variáveis relevantes de processo foram medidas. Estes dados constituem na base para comparação com os resultados obtidos em laboratório e previsão do desempenho do circuito industrial baseadas na metodologia de escalonamento de Bond. Os resultados de balanço de massas e cálculo do WI operacional utilizando-se o software *Moly Cop Tools* (Versão 3.0) são apresentados nas Figuras 3 e 4.

Observando-se a Figura 4, pode-se verificar que os dados obtidos pelo balanço de massas se ajustaram bem aos da amostragem, podendo-se utilizar estas informações como referência. Com a amostra coletada na alimentação da planta foram realizados ensaios de WI de Bond e Anaconda, os resultados são apresentados na Tabela 2.

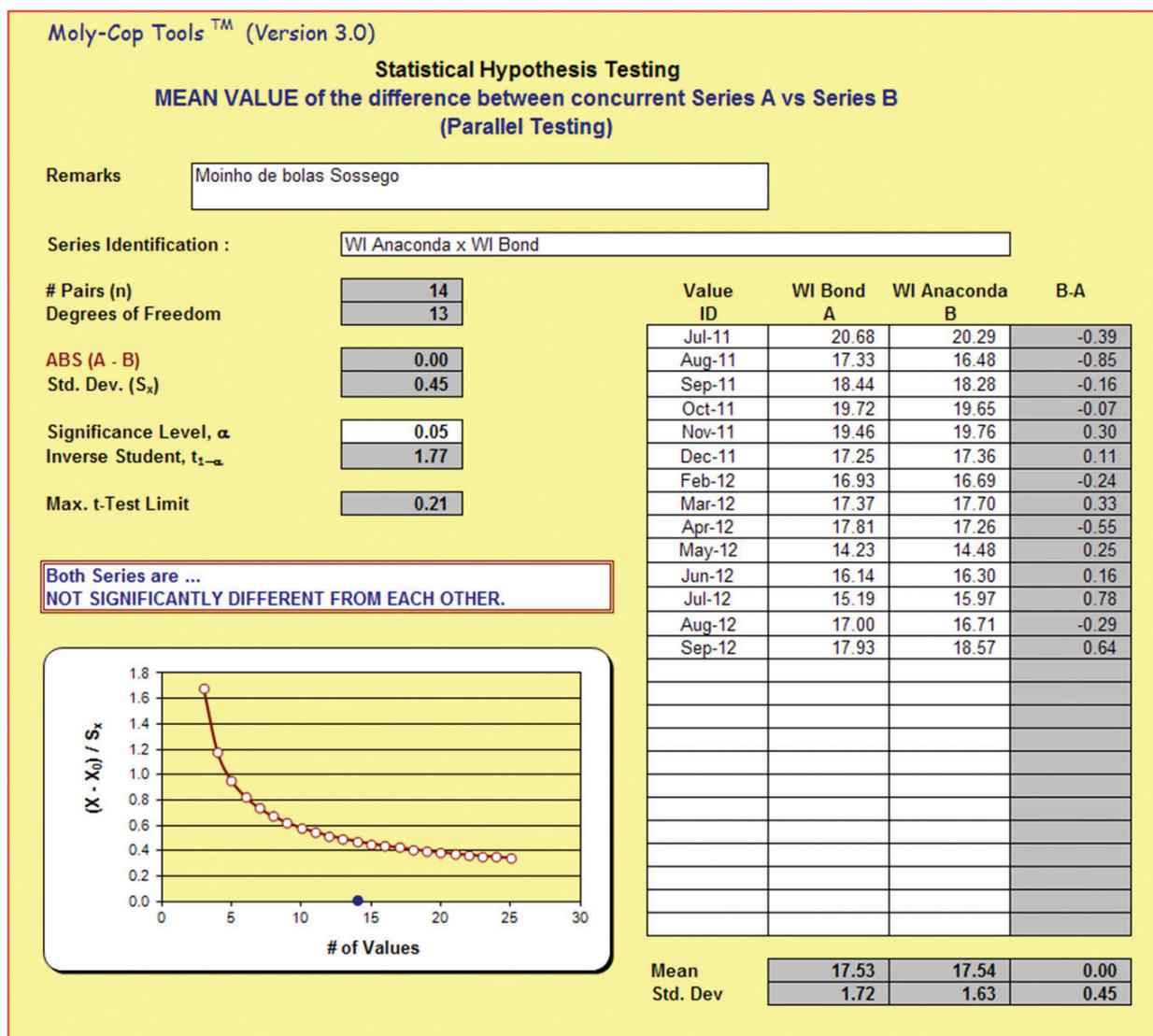


Figura 2. Comparação estatística dos resultados de WI calculados pelo método padrão de Bond e Anaconda na malha 0,150 mm, utilizando-se o pacote *Moly Cop Tools* (Versão 3.0).

CIRCUIT MASS BALANCE								
Configuration : REVERSE								
	Fresh	Mill	Mill	Sump	Cyclone	Cyclone	Cyclone	
	Feed	Feed	Discharge	Water	Feed	U'flow	O'flow	
Ore, ton/hr	790.0	1410.5	1410.5	0.0	2200.5	1410.5	790.0	
Water, m3/hr	41.6	432.4	490.8	698.5	1230.9	432.4	798.4	
Slurry, ton/hr	831.6	1842.9	1901.3	698.5	3431.3	1842.9	1588.4	
Slurry, m3/hr	328.9	945.3	1003.7	698.5	2031.0	945.3	1085.7	
Slurry Dens., ton/m3	2.529	1.949	1.894	1.000	1.689	1.949	1.463	
% Solids (by volume)	87.4	54.3	51.1	0.0	39.4	54.3	26.5	
% Solids (by weight)	95.0	76.5	74.2	0.0	64.1	76.5	49.7	

Particle Size Distributions (Cummulative % Passing)								
Mesh	Opening							
1.05	141421.36	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
0.742	100000	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
0.525	70710.678	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
0.371	50000	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3	35355.339	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
4	25000	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
6	17677.67	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
8	12500	96.10	99.20	101.38	0.00	99.49	99.20	100.00
10	8000	92.24	95.10	99.45	0.00	96.86	95.10	100.00
14	6000	88.82	92.90	99.16	0.00	95.45	92.90	100.00
20	3400	80.16	86.85	97.96	0.00	91.57	86.85	100.00
28	2000	70.41	80.66	97.23	0.00	87.60	80.66	100.00
35	1000	56.85	69.15	93.30	0.00	80.21	69.15	99.96
48	425	41.25	42.74	73.86	0.00	62.15	42.74	96.81
65	210	30.57	23.34	52.69	0.00	44.75	23.34	82.97
100	150	26.27	16.61	42.70	0.00	36.80	16.61	72.85
150	106	22.36	12.32	35.34	0.00	30.68	12.32	63.45
200	75	18.97	9.80	30.47	0.00	26.34	9.80	55.89
270	45	14.79	7.35	24.84	0.00	21.23	7.35	46.01
400	37	13.43	7.02	24.35	0.00	20.43	7.02	44.38

D80, microns	3373	1927	569	0	991	1927	191.1
Specific Energy Consumption :	10.42	KWH/ton (Gross)					
Operational Work Index :	18.91	KWH/ton					

Figura 3. Balanço de massas e cálculo do WI operacional do moinho de bolas da planta do Sossego, utilizando-se o pacote *Moly Cop Tools* (Versão 3.0).

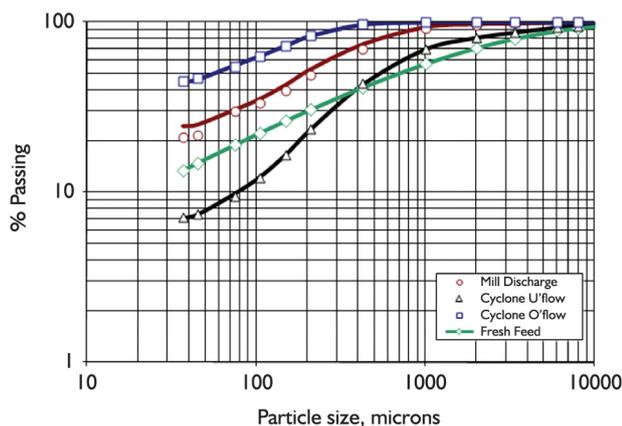


Figura 4. Balanço de massas (linhas) x amostragem (símbolos) - moinho de bolas da planta do Sossego, utilizando-se o pacote *Moly Cop Tools* (Versão 3.0).

Foi realizada uma análise estatística comparando os valores de WI Operacional com os previstos pelos ensaios de laboratório de WI de Bond e WI Anaconda utilizando-se o pacote *Moly Cop Tools* (Versão 3.0), os resultados são apresentados na Figura 5.

Observando-se a Figura 5, pode-se verificar que os resultados de WI operacional determinado para o Moinho do Sossego e os resultados obtidos utilizando-se as metodologias de WI de Bond e WI Anaconda são estatisticamente iguais.

Deste modo pode-se utilizar a metodologia simplificada de determinação de WI Anaconda como uma excelente ferramenta rápida e simples para a previsão do consumo energético do moinho industrial do Sossego, podendo ser implantada como uma ferramenta de rotina no planejamento operacional da planta.

Baseado nos resultados obtidos acima a metodologia Anaconda de previsão de Work Index de moinho de bolas pode ser implementada na rotina de planejamento de produção da planta do Sossego.

REFERÊNCIAS

- 1 Alves VK, Gonçalves KL. Methodologies for scale up of grinding and flotation circuits for new CVRD projects. Proceedings of the 38th Canadian Mineral Processors Annual Meeting; 2006; Ottawa, Canadá. Ottawa: The Canadian Mineral Processors Society; 2006. p. 567-576
- 2 Alves VK, Fonseca A, Schneider C. Metodologia para dimensionamento e mapeamento geometalúrgico de circuitos de cominuição. Anais do 68º Congresso Anual da ABM – Internacional; 2013 jul. 30-ago. 2; Belo Horizonte, Brasil. São Paulo: ABM; 2013. p. 3378-84.
- 3 Alves VK, Schneider CL. Application of the Anaconda simplified work index for multiple test sizes. In: Proceedings of the XXV International Mineral Processing Congress; 2010 Sept 6-10; Brisbane; Austrália. Melbourne: AusIMM; 2010. p. 565-570.
- 4 Yap RF, Sepulveda JL, Jauregui R. Determination of the Bond work index using an ordinary laboratory batch mill. In: Mular AL. Design, Installation of Comminution Circuits. Littleton: SME - The Society for Mining, Metallurgy and Exploration; 1982. p. 176-203.
- 5 Alves VK, Schneider CL. Prediction of the Bond work index for variability analysis. Proceedings of the Comminution 2010 Apr 13-16; Cape Town, África do Sul. Cornwall: Minerals Engineering International (MEI); 2010. p. 99-122.
- 6 Bond FC. Crushing and Grinding Calculations. British Chemical Engineering; 1961. Allis-Chalmers Publication, no. 07R9235B, Revisado 2 Jan.

Recebido em: 04/11/2013

Aceito em: 10/12/2013