

DESENVOLVIMENTO DE UM ENSAIO LABORATORIAL PARA O DIMENSIONAMENTO DE MOINHOS VERTICais*

Maria Stella Vasconcellos Limaverde¹

Thiago Henrique Dainezi²

Maurício Guimarães Bergerman³

Homero Delboni Júnior⁴

Resumo

A utilização de moinhos verticais na indústria mineral vem ganhando destaque nas últimas décadas, quando granulometrias mais finas passaram a ser exigidas, principalmente por tais equipamentos apresentarem maior eficiência energética para moagem fina e remoagem em comparação aos moinhos tubulares tradicionais. O dimensionamento destes equipamentos ainda é fortemente embasado por experiências em projetos similares, metodologias proprietárias dos fornecedores de equipamentos e plantas piloto, criando a necessidade do desenvolvimento de ensaios laboratoriais abertos e confiáveis para guiar tais trabalhos. Outro problema observado é a quantidade de material necessária para a realização dos ensaios, da ordem de ao menos 1 kg, o que pode ser um impedimento nos estágios iniciais de um projeto, quando pouca massa de material proveniente de furos de sonda está disponível. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um ensaio laboratorial com moinho de jarro para dimensionamento de moinhos verticais segundo uma abordagem energética que utilize uma pequena massa, de aproximadamente 500 g. O ensaio proposto mostrou-se de maior praticidade em relação ao ensaio com jarro maior, por utilizar aproximadamente metade da massa necessária e também apresentar boa aderência aos resultados industriais.

Palavras-chave: Moagem; Remoagem; Moinho vertical; Vertimill.

DEVELOPMENT OF A LABORATORY BATCH TEST FOR VERTICAL MILL SIZING

Abstract

The use of vertical mills in the mineral industry has increased in recent decades, when finer grain sizes became required, especially because such equipment's have higher energy efficiency for fine grinding and regrind comparing to traditional ball mills. Operational experience, proprietary methodologies of equipment's suppliers and pilot plants still the most used methodologies for the sizing of this equipment's, creating the need to develop open and reliable batch tests to guide such work. Another problem is the mass required for the laboratory test, usually around at least 1 kg, what can be a problem during the first stages of the project development, when only small amounts of drill cores samples are available. This work present the development of a new batch test for vertical mill sizing using an energetic approach that uses approximately 500 g. The proposed test proved more practical than the tests normally used and showed results compatible to the industrial data.

Keywords: Grinding; Regrinding; Vertical mill; Vertimill.

¹ Engenheira de minas, Ita Engenharia para mineração, São Paulo, SP, Brasil.

² Engenheiro de minas, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, Brasil.

³ Engenheiro de minas, Doutor, Professor, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

⁴ Engenheiro de minas, Doutor, Professor, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, tem-se observado, nas últimas décadas, uma significativa demanda por moagem cada vez mais fina, a fim de se conseguir as liberações minerais necessárias para as etapas de concentração e metalurgia. Quanto mais fina a granulometria requerida, maior é o gasto de energia nas etapas de moagem. Tendo em vista o impacto significativo dos custos de energia sobre o custo total de operação do beneficiamento mineral, que pode chegar ou mesmo ultrapassar 50% do custo total, a correta escolha do circuito de moagem a ser utilizado é de fundamental importância na viabilização de um empreendimento mineiro. Além disso, o tipo de tecnologia usada para a cominuição pode apresentar impactos significativos nas etapas subsequentes de concentração mineral, o que reforça a importância da escolha adequada destes equipamentos.

Para minimizar o impacto no consumo de energia, cada vez mais necessária para as moagens mais finas, diversos equipamentos têm sido desenvolvidos, nos últimos anos, visando a remoagem e a cominuição fina e ultrafina de minérios, como os moinhos de carga agitada por impelidor. Dentro deste universo, os moinhos que têm demonstrado maior aplicação em circuitos de moagem de minerais metálicos a úmido são os chamados comercialmente de *Vertimill®* e *Isamill®*. O primeiro é um moinho vertical de carga agitada por impelidor que trabalha com baixa velocidade de rotação, o qual será denominado neste trabalho de moinho vertical. O segundo é um moinho horizontal cujo impelidor opera em alta rotação. Diversos autores avaliam que a tecnologia de moagem em moinhos de carga agitada por impelidores será de fundamental importância para minimizar o consumo de energia de moagem (Daniel [1], Marsden [2], Napier-Munn [3], Norgate e Jahanshari [4], Rule e Neville [5], Valery Junior e Jankovic [6]).

Observa-se, no entanto, pouca disponibilidade de informação na literatura sobre estes equipamentos, tendo em vista que cada tecnologia de remoagem e moagem fina ou ultrafina costuma ser desenvolvida por um centro de pesquisa ou empresa em particular, sendo tecnologias proprietárias, verdadeiras “caixas-pretas”. O setor mineral carece de estudos comparativos e detalhados destes, que ilustrem quais equipamentos são mais eficientes para cada aplicação de remoagem ou moagem fina e ultrafina.

Em muitos casos, faltam também provas piloto e industriais que gerem confiança para que o setor industrial passe a usar essas tecnologias, principalmente no Brasil. Em muitos casos, também não existe um método claro para dimensionamento e seleção desses equipamentos, ficando tal tarefa exclusivamente a cargo dos fabricantes, que possuem ensaios cujos procedimentos e fatores utilizados não são divulgados, ou são divulgados apenas parcialmente.

Outro ponto que merece destaque no dimensionamento de moinhos verticais para remoagem é que nos estágios iniciais de desenvolvimento do projeto, existe pouca massa disponível para a realização de ensaios metalúrgicos. Levando-se em conta que a alimentação dos ensaios de remoagem devem ser realizados com produtos de etapas de concentração, em alguns casos deve-se concentrar mais de 10 kg de minério para se obter 1 kg de alimentação da remoagem. Desta forma, ensaios que para dimensionamento de circuitos de remoagem que utilizem uma menor massa são de grande importância para que se permita um dimensionamento adequado ainda nas etapas iniciais de desenvolvimento de um projeto.

O objetivo deste trabalho é apresentar um ensaio em moinho de jarro em escala laboratorial, visando estimar o consumo energético dos equipamentos industriais e,

desta forma, servir de base para o dimensionamento de equipamentos industriais conforme a aplicação selecionada.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram divididos em duas etapas. Em uma primeira etapa, foram avaliadas as principais variáveis consideradas importantes, baseando-se nos ensaios de jarro utilizados por Donda [7] e pela Metso [8], sendo avaliadas as seguintes variáveis:

- a) Tipo de jarro: aço carbono 1020 ou aço inoxidável: deve-se destacar que foram testados dois materiais para a fabricação do moinho, aço carbono e aço inox, tendo em vista as observações de Alves [9], que mostram uma grande diferença em resultados de WI utilizando-se moinho de aço carbono e aço inox. Caso essa diferença se confirmasse, o material usado no ensaio de jarro poderia impactar os resultados do mesmo;
- b) Tamanho dos corpos moedores:
 - 1) Apenas corpos moedores de 6,35 mm;
 - 2) Apenas corpos moedores de 12,7 mm;
 - 3) Carga sazonada com corpos moedores entre 19 e 6,35 mm, simulando a carga amostrada no moinho vertical do Sossego;
- c) Velocidade de rotação do jarro: 60, 76 e 90% da velocidade crítica: este parâmetro é importante por determinar a dinâmica da carga e consequentemente dos mecanismos de quebra que irão ocorrer no jarro. Quanto maior a velocidade, maior a ocorrência de impacto, que não é desejável neste ensaio, já que os moinhos verticais operam com baixas velocidades e pouca participação de quebra por impacto;
- d) Enchimento de corpos moedores (bolas de aço cromo): 40 e 50%;
- e) Massa de minério: apenas preenchendo os vazios da carga de corpos moedores e com excesso de massa, com a polpa ficando aproximadamente 2 cm acima da carga de corpos moedores; e
- f) Porcentagem de sólidos em massa: 50 ou 60%.

Em uma segunda etapa, foram comparados os resultados destas melhores condições com as mesmas condições no jarro de 6x8". A maior parte dos ensaios de jarro na literatura (Donda [7], Metso [8], Yankovik [10] e Larson et al. [11]) utilizam jarros com tamanhos mínimos de 8" x 10". Como na remoagem a alimentação é relativamente fina, usualmente abaixo de 300 μm , optou-se neste estudo por testar um jarro ainda menor que os padrões da literatura, que consumisse menos massa no ensaio. Essa preocupação também se justificou devido ao fato que durante o desenvolvimento de projetos, a quantidade de massa de material que irá alimentar a remoagem disponível para ensaios é muito pequena, uma vez que estes dependem da realização de ensaios de concentração mineral;

As tabelas 1 e 2 resumem as condições ensaiadas nas duas etapas.

Tabela 1. Condições dos ensaios de jarro da primeira etapa

Número do ensaio	Tipo de jarro*	Dimensões do moinho – diâmetro x comprimento ("")	Tamanho dos corpos moedores (mm)	Velocidade do jarro (rpm)	Enchimento de bolas (%)	Porcentagem de sólidos em massa	Massa de minério (g)	Massa de água (g)
1.1	A.C.	8x10	12,7	71,3	40	50	1952	1952
1.2	A.C.	8x10	12,7	71,3	40	50	1007	1007
1.3	A.C.	8x10	12,7	84,5	40	50	1007	1007
1.4	A.C.	8x10	12,7	71,3	40	60	1358	905
1.5	A.C.	8x10	12,7	71,3	50	50	1348	1348
1.6	A.C.	8x10	19	71,3	40	50	1007	1007
1.7	A.C.	8x10	12,7	71,3	40	50	1007	1007
1.8	A.I.	8x10	12,7	71,3	40	50	1007	1007
1.9	A.C.	8x10	6,35	71,3	40	50	1007	1007
1.10	A.C.	8x10	12,7	56,3	40	50	1007	1007

* Aço Carbono = A.C. e Aço Inox = A.I.

Tabela 2. Condições dos ensaios de jarro da segunda etapa

Número do ensaio	Amostra	Tipo de jarro**	Dimensões do moinho – diâmetro x comprimento ("")	Velocidade do jarro (rpm)	Massa de minério (g)	Massa de água (g)
2.1	2	A.C.	8x10	71,3	1017	1017
2.2	1	A.C.	8x10	71,3	1007	1007
2.5	1	A.I.	6x8	82,35	530	530
3.1	1	A.I.	6x8	82,35	530	530
3.2	2	A.I.	6x8	82,35	530	530
3.5	1	A.C.	8x10	71,3	1007	1007

*Todos os ensaios foram realizados com corpos moedores de 12,7 mm, 40% de enchimento de bolas e 50% de sólidos.

* Aço Carbono = A.C. e Aço Inox = A.I.

O erro do ensaio foi medido de duas formas. O erro da energia aplicada ao jarro, por não poder ser medido, uma vez que é calculado a partir das variáveis que são consideradas na fórmula do Rowland [12] de cálculo da potência do moinho, foi determinado utilizando a fórmula de propagação de incertezas, apresentada por Vuolo [13]. Para a determinação do erro relativo a granulometria do produto do ensaio, foram realizadas várias repetições de cada ensaio e determinado o desvio padrão relativo. Neste trabalho não iremos apresentar o detalhamento dos resultados obtidos, que podem ser obtidos em Bergerman [14]. Observou-se, no entanto, que o erro do cálculo da energia é muito baixo, menor que 1% e que o erro da determinação da granulometria é de no máximo 4%. Por serem erros muito pequenos, em algumas das Figuras com os resultados dos ensaios de jarro os mesmos não estão representados pois as barras de erro seriam muito pequenas.

O procedimento padrão para todos ensaios de jarro é descrito a seguir. O moinho de jarro foi alimentado com a massa determinada de minério, de forma que a quantidade de polpa do moinho fosse o suficiente para encher os espaços vazios da carga de bolas. A massa de minério foi inicialmente diluída em água e despejada no interior do moinho, já com os corpos moedores, de forma a garantir uma distribuição homogênea das partículas no interior da carga de corpos moedores. O moinho foi então fechado e colocado no gira jarros.

O moinho foi operado em 7 intervalos de tempo, quais sejam 5, 10, 20, 30, 40, 60 e 120 minutos. Para cada um dos intervalos, foi utilizada uma nova alimentação. Alguns autores, como Partyka e Yan [15], utilizam a mesma amostra, parando o moinho, retirando uma pequena alíquota, de aproximadamente 1% do total para análise a laser e outra amostra para peneiramento, que depois é retornada ao moinho. Os autores afirmam que esta retirada de amostras não impacta o ensaio, pela comparação com ensaios contínuos. No entanto, para minimizar possíveis

erros, optou-se neste trabalho pela utilização de uma amostra nova para cada tempo de moagem.

Desta forma, foi possível determinar a distribuição granulométrica do produto da moagem para os diferentes intervalos, que seriam posteriormente convertidos em uma energia equivalente gasta na moagem. Os ensaios foram realizados em uma mesa de rolos com velocidade variável e a velocidade de rotação dos jarros foi ajustada utilizando-se um tacômetro da marca Minipa modelo MDT-2238A, com medição foto-eletrônica. As Figuras 1 a 4 ilustram as etapas do processo de realização do ensaio.



Figura 1 - Jarros utilizados para os ensaios
Fonte: Dainezi [16]



Figura 2 – Jarro com carga de corpos moedores e minério



Figura 3 – Detalhe do jarro com carga de corpos moedores e minério



Figura 4 - Jarro na mesa de rolos

O produto de cada ensaio de jarro foi então descarregado do moinho, secado a uma temperatura de no máximo 60°C, para evitar aglomeração das partículas finas, e então quarteado, de forma a separar uma alíquota de aproximadamente 100 g para a análise granulométrica. As distribuições granulométricas da alimentação e dos produtos dos ensaios de moagem foram determinadas por meio de peneiramento a úmido, até a malha de 75 μm , combinado com análise da difração a laser para as frações abaixo desta malha.

Utilizando-se a equação proposta por Rowland [12] para cálculo da potência consumida por moinhos menores que 2,44 m, foram calculadas as potências consumidas em cada ensaio.

Os ensaios para o desenvolvimento do ensaio de jarro proposto foram realizados com amostras que representam a alimentação nova do circuito de remoagem da usina do Sossego. Para a primeira etapa deste, foi selecionada uma amostra de alimentação nova do circuito de remoagem da usina do Sossego, tomada em 13 de dezembro de 2011, chamada aqui de amostra 1. Para a segunda etapa do estudo,

* Contribuição técnica ao 70º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 15º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 17 a 21 de agosto de 2015, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

além da amostra 1, foi utilizada uma amostra coletada no dia 14 de dezembro de 2011, chamada aqui de amostra 2. Todos os detalhes de como as amostras utilizadas neste estudo foram coletadas assim como os resultados e discussões das amostragens industriais podem ser encontrados em Bergerman [14] e Bergerman et al. [17]. Informações detalhadas sobre o circuito do Sossego podem ser obtidas em Bergerman [18].

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados da Primeira Etapa de Ensaios

Os resultados da primeira etapa indicaram que as condições que mais se aproximaram das condições observadas industrialmente foram as seguintes:

- Velocidade de rotação de 76% da velocidade crítica;
- Jarro de aço carbono ou aço inox;
- Corpos moedores de 12,7 mm;
- 50% de sólidos;
- 40% de enchimento de bolas;

As íntegras dos resultados obtidos podem ser avaliadas em Bergerman [14]. Serão aqui destacados os resultados mais relevantes para a seleção das condições padrões do ensaio proposto.

A Figura 5 ilustra a comparação dos resultados obtidos sob mesmas condições com o jarro de inox e com o jarro de aço carbono. Pode-se observar que o resultado dos ensaios não sofreu influência significativa do tipo de material do jarro. Desta forma, optou-se por utilizar o jarro de aço inox como padrão, devido a maior durabilidade do mesmo.

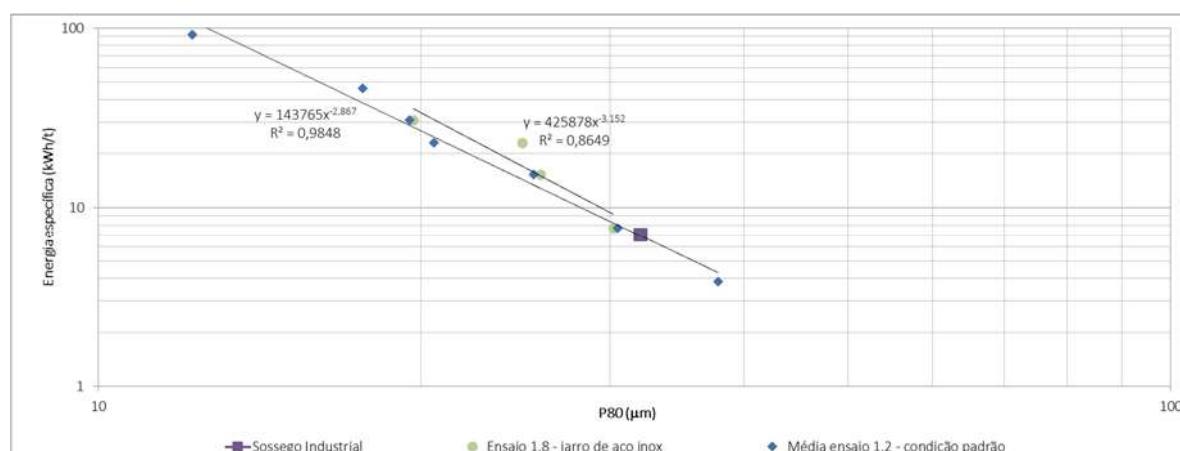


Figura 5 - Resultados dos ensaios 1.8 em comparação ao ensaio 1.2 e a amostragem industrial do Sossego

A Figura 6 ilustra a comparação entre os diferentes tamanhos de corpos moedores utilizados. Pode-se observar que as bolas de 12 mm foram a que apresentou melhores resultados em relação aos obtidos industrialmente, sendo por isto selecionada como padrão.

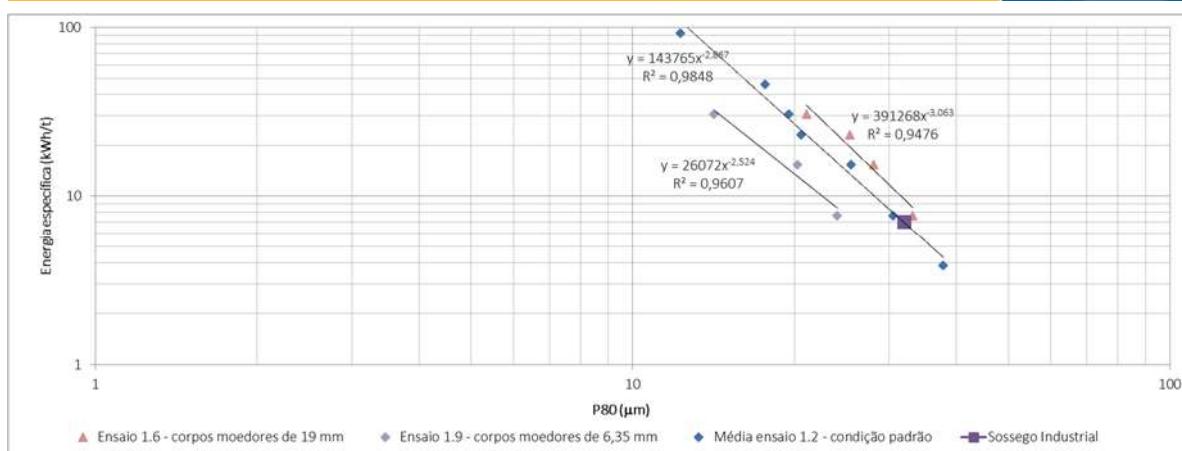


Figura 6 - Resultados dos ensaios 1.6 e 1.9 em comparação ao ensaio 1.2 e a amostragem industrial do Sossego

3.2 Resultados da Segunda Etapa de Ensaios

A Figura 7 ilustra os resultados obtidos com os jarros de 8x10" e com os jarros de 6x8" para a amostra 1. Pode-se observar que respeitando-se o próprio erro do ensaio, as linhas de tendências das médias dos dois ensaios estão muito próximas e com ótima aderência em relação ao valor obtido industrialmente.

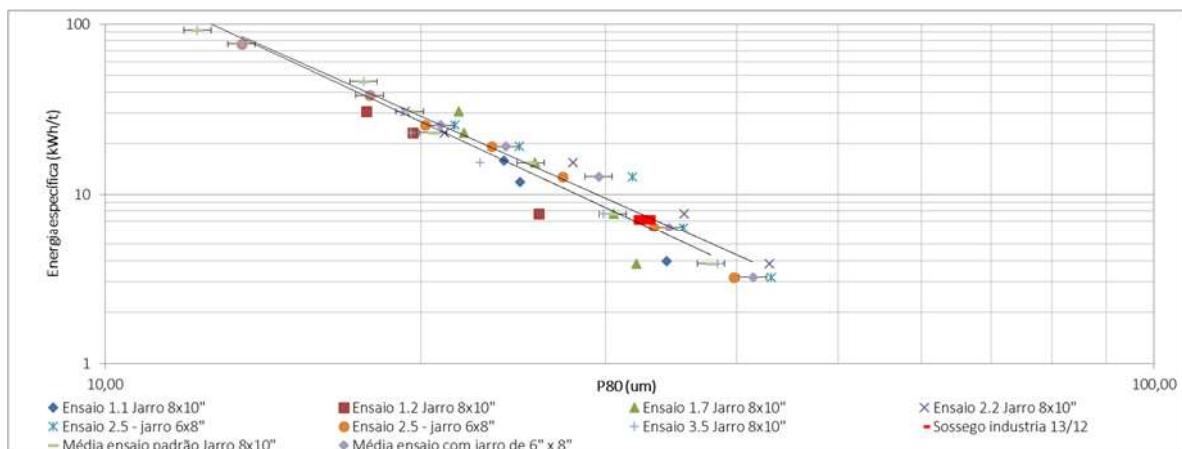


Figura 7 - Resultados dos ensaios com dois tamanhos de jarro da amostra 1

O mesmo bom resultado obtido com a amostra 1 pode ser observado na Figura 8 para a amostra 2. Os valores com ambos jarros são muito próximos e dentro do erro do próprio ensaio.

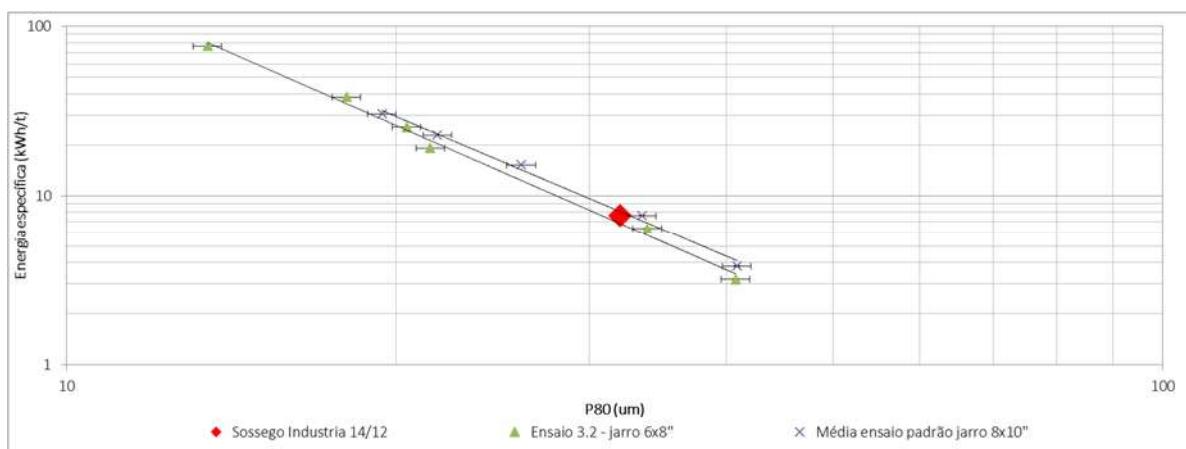


Figura 8 - Resultados dos ensaios com dois tamanhos de jarro da amostra 2

A partir da análise dos resultados dos ensaios de jarro das duas etapas, foi possível concluir o seguinte a respeito do ensaio desenvolvido:

- O mesmo se mostrou válido para o circuito do Sossego, que opera com moinhos verticais em circuito fechado e são alimentados por sua porção inferior, configuração considerada padrão em instalações de moinhos verticais para aplicações de remoagem de minérios metálicos;
- O ensaio de jarro laboratorial considerado padrão é realizado em uma mesa de rolos com velocidade variável, com um jarro de aço carbono, com revestimento interno liso, 40% de enchimento com corpos moedores com 12,7 mm de diâmetro de aço cromo, rotação do jarro de 76% da velocidade crítica, 50% de sólidos e polpa em quantidade suficiente para preencher os vazios da carga de corpos moedores. O jarro a ser utilizado por ser de 6" x 8" ou de 8" x 10";
- A validação do ensaio de jarro de menor porte em relação aos usados convencionalmente, de 6" x 8", mostra-se muito vantajoso para a indústria. A realização do ensaio neste jarro requer apenas 500 g de minério por ensaio, enquanto o jarro de 8" x 10" requer aproximadamente 1.000 g por ensaio. Considerando-se que para se traçar a curva de moagem são necessários 4 a 5 ensaios, a diferença de massa pode chegar a aproximadamente 2.500 g. Levando-se em conta que para se gerar 1.000 g de concentrado *rougher* pode ser necessário flotar 10 kg de minério, considerando-se uma recuperação em massa do estágio *rougher* de 10%, a menor demanda para o ensaio de jarro proposto é de grande valia para as etapas iniciais de projetos, quando o concentrado *rougher* só pode ser produzido em ensaios laboratoriais ou em custosas operações piloto.
- Por fim, cabe destacar que não foram realizados mais ensaios de jarro com outras amostras industriais, a fim de validar o mesmo com uma base de dados mais ampla, devido à grande dificuldade de obtenção de amostras industriais representativas. No entanto, uma vez que as condições padrão do ensaio proposto foram definidas, uma maior quantidade de amostragens, em diferentes usinas, pode ser realizada para confirmar a validade do ensaio proposto.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento de um ensaio laboratorial, para estimar o consumo de energia em circuitos industriais de remoagem que utilizem moinhos verticais. Conclui-se que o ensaio desenvolvido apresentou excelente aderência aos dados industriais da usina do Sossego e baixa variabilidade, podendo

* Contribuição técnica ao 70º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 15º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 17 a 21 de agosto de 2015, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ser realizado com equipamentos de baixo custo e normalmente disponíveis nos laboratórios e nas usinas de beneficiamento de minérios. Cabe destacar a validação do uso de um jarro de dimensões menores que os normalmente utilizados, o que permite a realização do ensaio com amostra de apenas 500 g, menor que as massas de ao menos 1 kg normalmente utilizados em ensaios desta natureza. Com isto, facilita-se a realização destes ensaios em etapas iniciais dos projetos de mineração, nas quais não se dispõem de massa significativa para a geração dos concentrados de flotação necessários para as avaliações de remoagem. Mesmo em usinas já em operação, a necessidade de uma menor massa facilita os procedimentos de amostragem e realização dos ensaios.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Vale S.A., ao Laboratório de Engenharia da Universidade Federal de Alfenas, ao Laboratórios de Tratamento de Minérios e ao Laboratório de Simulação e Controle da Universidade de São Paulo pelo apoio na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Daniel MJ. Comminution efficiency attracts attention. *AusIMMBulletin*. 2011;5: 20-29.
- 2 Marsden JO. Keynote address: lessons learned from the copper industry applied to gold extraction. In: The Southern Institute of Mining and Metallurgy. Proceedings: World gold conference;2009;Misty Hills, Brazil. Johnesburgh: SIMM; 2009. p. 231-240.
- 3 Napier-Munn TJ. Comminution energy and how to reduce it. In: Coalition for Eco-Efficient Comminution. Proceedings 2012 CeeC Workshop; 2012; Australia. Disponível em: www.ceeccethefuture.org
- 4 Norgate T, Jahanshahi S. Reducing the greenhouse gas footprint of primary metal production: where should the focus be? *Minerals Engineering*. 2011;24:1563-1570.
- 5 Rule CM, Neville P. 2020: What will the typical PGM concentrator flow sheet look like? In: Mei Conferences. Proceedings: Comminution' 12; 2012; Cape Town, South Africa. Falmouth: MEI, 2012.
- 6 Valery Junior W, Jankovic A. The future of comminution. Proceedings: 34th loc on Mining and Metallurgy Conference; 2002; Bor Lake, Yugoslavia. [s.L.: s.n.]; 2002. p. 287-298.
- 7 Donda JD. Um método para prever o consumo específico de energia na (re)moagem de concentrados de minério de ferro em moinhos de bolas [tese de doutorado]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2003.
- 8 Metso Minerals. Stirred milling. In: Mei Conferences. Proceedings: Annual Conference in Minerals Engineering; 2012; Lulea: Sweden. Falmouth: MEI; 2012.
- 9 Alves VK. Estudo de avaliação dos parâmetros que influenciam de maneira significativa nos resultados de ensaio de WI de Bond. In: Universidade Federal de Ouro Preto. Anais do XXII Encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extractiva; 2007; Ouro Preto, Brazil. Ouro Preto: s.n.; 2007. v. 1, p. 151-156.
- 10 Jankovic A, Valery Junior W. Design and operation of Vertimill® for secondary grinding. In: Australian Mineral Foundation. Proceedings: 36th International Conference on Mining and Metallurgy; 2004; Bor Lake, Serbia. Bor Lake: AMF; 2004.
- 11 Larson M, Anderson G, Morrison R, Young M. Regrind mills: challenges of scale-up. In: Society for Mining, Metallurgy and Exploration. Proceedings: 2011 Annual Meeting; 2011; Denver, United States of America. Englewood: SME; 2011. Disponível em: <http://isamill.com>

- 12 Rowland Junior CA. Selection of rod mills, ball mills and regrind mills. In: Society for Mining, Metallurgy and Exploration. Proceedings: Advances in Mineral Processing; 1986; Vancouver, Canada. Littleton: SME; 1986. v. 1, p. 393-438.
- 13 Vuolo JH. Fundamentos da teoria de erros. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher; 1996.
- 14 Bergerman MG. Dimensionamento e seleção de moinhos verticais [tese de doutorado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2013.
- 15 Partyka T. Yan D. Fine grinding in a horizontal ball mill. Minerals Engineering. 2007;20: 320-326.
- 16 Dainezi TH. Dimensionamento de moinhos verticais [trabalho de conclusão de curso de graduação]. Poços de Caldas: Universidade Federal de Alfenas; 2014.
- 17 Bergerman MG, Delboni Jr. H. Regrind of metallic ores with Vertical Mills: An overview of the existing plants in Brazil. In: Gecamin. Proceedings: XXVII International Mineral Processing Congress; 2014; Santiago, Chile. Santiago: Gecamin; 2014. v. 9. p. 300-309.
- 18 Bergerman MG. Modelagem e simulação do circuito de moagem do Sossego [dissertação de mestrado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2009.