

CONSTATAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DA PRENSA DE ROLOS ANTES DAS ETAPAS DE MOAGEM, DESLAMAGEM, FLOTAÇÃO E REMOAGEM DE MINÉRIO DE FERRO *

*Elias Fonseca de Castro¹
José Francisco Cabello Russo¹
Denilson Rodrigues de Araújo²
Henrique Dias Gatti Turrer¹
Luís Cláuzio de Rennó Machado²*

Resumo

O projeto Minas-Rio do grupo Anglo American foi concebido para produzir pellet feed a partir de um itabirito de baixo teor. O circuito de cominuição possui três prensas de rolos e dois moinhos de bolas. Este tipo de circuito, com prensa de rolos (circuito aberto) seguido de moagem de bolas (circuito fechado), é denominado circuito híbrido. A literatura mostra este circuito híbrido como sendo de maior eficiência energética. O objetivo principal desse trabalho foi avaliar os benefícios da utilização da prensa de rolos no consumo energético das etapas de moagem e remoagem e o objetivo secundário foi mostrar o impacto da prensa nas recuperações mássicas da deslamagem e da flotação, tendo em vista uma possível maior geração de finos decorrente da prensagem do material. Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que a prensa de rolos reduziu o consumo específico de energia nas etapas de cominuição existentes à jusante da prensa, incrementou a recuperação da flotação e não diminuiu a recuperação da deslamagem.

Palavras-chave: Prensa de rolos; Minas-Rio; Minério de ferro; Circuito híbrido.

CONFIRMATION OF THE BENEFITS OF THE APPLICATION OF THE HPGR BEFORE THE STAGES OF DESLIMING, GRINDING, FLOTATION AND REGRINDING IRON ORE

Abstract

The Minas-Rio project of the Anglo American group was designed to produce pellet feed from a low-grade itabirite. The comminution circuit has three HPGR's and two ball mills. This type of circuit, with HPGR (open circuit) followed by ball milling (closed circuit), is called a hybrid circuit. The literature shows this hybrid circuit as being more energy efficient. The main objective of this work was to evaluate the benefits of using the HPGR in the energy consumption of the grinding and regrinding and the secondary objective was to show the impact of the press on mass recovery of desliming and flotation, in view of a possible higher generation resulting from the pressing of the material. The results obtained in this work showed that the HPGR reduced the specific energy consumption in the comminution stages existing downstream of the press, increased the recovery of the flotation and did not decrease the recovery of the desliming stage.

Keywords: HPGR; Minas-Rio; Iron ore; Hybrid circuit.

¹ Gerência de Desenvolvimento de Processos da unidade de negócio Minério de Ferro Brasil da Anglo American – Rodovia MG10, Km180, Córrego Pereira, Conceição do Mato dentro, MG, Brasil.

² Gerência de Qualidade e Processos da unidade de negócio Minério de Ferro Brasil da Anglo American – Rodovia MG10, Km180, Córrego Pereira, Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O Minas-Rio, do grupo Anglo American, é um complexo industrial concebido para produzir 24,5 milhões de toneladas por ano de pellet feed (base seca). No Minas-Rio o minério é lavrado e beneficiado em Conceição do Mato Dentro-MG e bombeado até São João da Barra-RJ, através do maior mineroduto do mundo, contendo 529Km de extensão. Em São João da Barra o pellet feed é filtrado, estocado e embarcado através do Porto do Açú.

Em empresas produtoras de pellet feed, a partir de itabirito de baixo teor, o profundo conhecimento do processo de cominuição se torna uma vantagem competitiva, tendo em vista os altos consumos específicos de energia (kWh/t) requeridos durante o processo de beneficiamento.

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o benefício da utilização da prensa de rolos antes das etapas de cominuição (moagem e remoagem). Além disso, avaliou-se também o impacto da utilização da prensa de rolos nas recuperações mássicas da classificação e concentração.

A prensa de rolos de alta pressão, em inglês High Pressure Grinding Rolls (HPGR), encontra-se cada vez mais presente em circuitos de cominuição na indústria mineral, seu conceito foi proposto por Klaus Schoenert em 1979 na Alemanha.

Existem diversas configurações de circuitos de cominuição possíveis para aplicação da prensa de rolos. No Brasil, as aplicações que mais se destacam são: substituição da moagem AG/SAG, substituição das etapas de britagem/pré-moagem e geração de superfície específica.

No Minas-Rio, a prensa de rolos substituiu a britagem terciária e quaternária, antecedendo a moagem primária. São três prensas de rolos de 2,40m de diâmetro por 1,65m de largura. Cada prensa de rolos possui 2 motores de 2400kW totalizando 4800kW de potência por equipamento.

Essa configuração de prensa de rolos em circuito aberto seguida de moagem de bolas em circuito fechado é denominada circuito híbrido. Segundo FUESTERNAU et al. (1997) o circuito híbrido de moagem apresenta uma maior eficiência energética, devido a prensa e o moinho apresentarem seus respectivos pontos de máxima eficiência energética para distintas taxas de redução, ou seja, se complementam. Sendo a prensa de rolos mais eficiente para baixas taxas de redução e o moinho de bolas para altas taxas de redução.

2 DESENVOLVIMENTO

Para avaliar o impacto da prensa de rolos nas etapas de moagem, classificação, flotação e remoagem foi realizada uma amostragem industrial na correia transportadora que recebe o produto da prensa. Essa amostragem foi realizada em duas condições operacionais, com a prensa de rolos em operação e com a mesma em stand-by. As condições operacionais mantidas durante as coletas das amostras são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Condições operacionais durante a coleta das amostras

Parâmetros	Amostra prensada	Amostra não prensada
Taxa (tmn/h)	2850	3000
GAP (mm)	39	*
Pressão N2 (bar)	50	*
Potência (kWh)	3404	*
kWh/t	1,19	*

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para o Centro de Tecnologia Mineral da Anglo American, onde foram caracterizadas e processadas. Para realização deste trabalho foi adotado o fluxograma mostrado na figura 1.

**Figura 1.** Fluxograma adotado no estudo.

Os ensaios de moabilidade, simulando a moagem e a remoagem, foram realizados em moinho tubular de bolas, seguindo os parâmetros apresentado na figura 2.

Ensaio de Moabilidade			
Parâmetros	Unid.	Moagem	Remoagem
Diâmetro Interno	m	0,457	0,203
Comp. Interno	m	0,381	0,203
Porosidade	%	40	40
J - Ench. Bolas	%	25	42
U - Ench. Material	%	100	100
Dens. real sólidos	t/m3	3,8	4,9
Dens. apar. sólidos	t/m3	2,38	2,62
Dens. real bolas	t/m3	7,75	7,65
Conc. sólidos	%	74	70
Vel. crítica adotada	%	76,1	76,1
Vol. Interno	m3	0,06	0,007
Velocidade crítica	rpm	66,2	97,6
Massa sólidos (seco)	kg	14,87	2,89
Massa de bolas	kg	72,65	12,67
Volume de água	L	5,226	1,239
Potência	kW	0,355	0,036

Figura 2. Parâmetros dos ensaios de moabilidade da moagem e remoagem.

As potências dos moinhos apresentadas na figura 2 foram calculadas utilizando a equação 1, proposta por ROWLAND (1986).

$$kWb = 6,3D^{0,3} \operatorname{sen} \left(51 - 22 \left(\frac{2,44-D}{2,44} \right) \right) (3,2 - 3Vp)Cs \left(1 - \frac{0,1}{2^{(9-10Cs)}} \right) \quad (1)$$

Onde:

kWb – QuiloWatts por tonelada de bolas no eixo pinhão

D – Diâmetro do moinho, em metros, interno ao revestimento

Vp – Fração do volume do moinho ocupado pelas bolas

Cs – Fração da velocidade crítica

DONDA (2003) validou um método de previsão de consumo de energia em moinhos industriais, que basicamente faz a aplicação das equações de Bond-Rowland para o cálculo do consumo de energia, aplicando diferentes níveis de energia na moagem, em moinho de laboratório, utilizando diferentes tempos de moagem. O tempo de moagem é convertido em consumo específico de energia através da equação proposta por ROWLAND (1986).

Após definir os tempos de moagens necessários para obter um produto com P80 igual a 120 μ m foram realizadas 6 moagens nas mesmas condições, para cada um dos cenários estudados (amostra prensada e amostra não prensada). Os produtos dessas moagens formaram 2 compostos, sendo esses compostos utilizados nos testes de deslamagem, flotação e remoagem.

Os ensaios de deslamagem foram realizados em loop de ciclones de 40mm operando com as mesmas configurações de ápex e vórtex e nas mesmas condições de pressão e de diluição, respectivamente iguais a, 2bar e 30% sólidos.

Os ensaios de flotação em bancada foram realizados com os underflows produzidos na etapa de deslamagem. Esses ensaios foram realizados em cuba de 4,5L. A concentração de sólidos em peso foi ajustada para 60 e 40% no condicionamento e na flotação, respectivamente. A amina (7500 da Clariant) e amido (Gritz da Kowaski) foram preparados a uma concentração de 1%. O amido foi adicionado a 500 g/t e solubilizado com hidróxido de sódio em uma proporção de 5 para 1. A dosagem de amina variou em função do teor de sílica desejado no concentrado, 70g/t para SiO₂ = 1% e 35g/t para SiO₂ = 5%. O pH da flotação foi ajustado para 10,5. Os tempos de condicionamento do amido e da amina foram, respectivamente, 5 e 1 minuto. A agitação foi controlada a 1.200 e 1.500rpm, respectivamente, no condicionamento e na flotação. O material flotado foi coletado durante 6 minutos, após o início da aeração, que foi ajustada em 2LPM.

Os concentrados dos ensaios de flotação formaram compostos que foram utilizados nos ensaios de moabilidade da remoagem, conforme mostrado na figura 2.

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As análises granulométricas das amostras coletadas na planta industrial representando as duas condições operacionais da prensa de rolos (material prensado e material não prensado) são apresentadas na figura 3. Observa-se que a prensa de rolos reduziu abruptamente a granulometria do material que alimenta a moagem primária. O minério prensado apresentou um P80 igual a 759 μ m e o minério não prensado apresentou um P80 igual a 2.527 μ m.

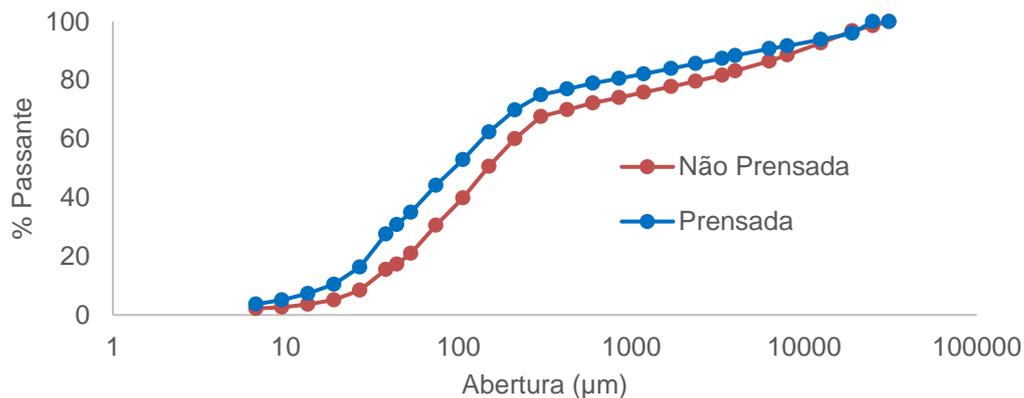


Figura 3. Análise granulométrica das amostras coletadas na planta industrial.

3.1 Moagem

As amostras foram moídas em laboratório nas mesmas condições, apenas a energia aplicada em cada tarefa de moagem foi alterada. A figura 5 apresenta os resultados dos ensaios de moabilidade. Observa-se que a constante cinética de moagem, que representa a massa processada por potência requerida para uma determinada tarefa de moagem (t/kWh), do material prensado é aproximadamente 23% maior que a constante cinética do material não prensado, evidenciando que o material prensado demanda uma menor potência para ser cominuído.

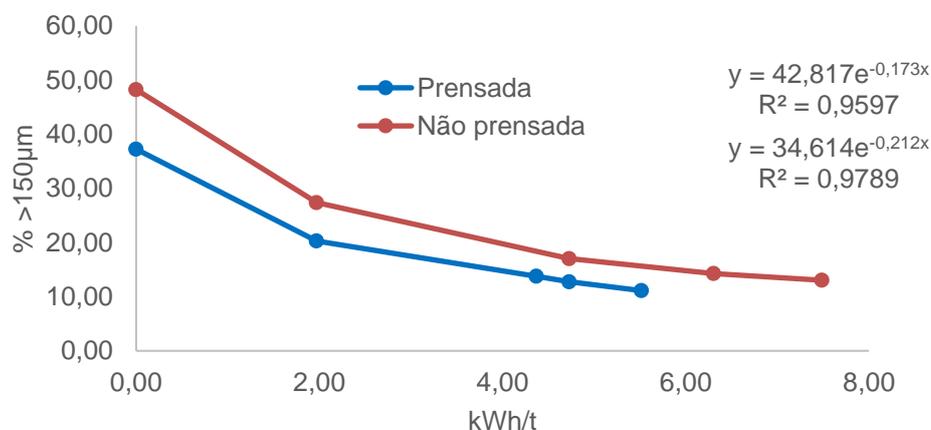


Figura 4. Resultados dos ensaios de moabilidade simulando a moagem.

A redução do consumo de energia na moagem de bolas com a utilização da prensa de rolos foi observada por diversos autores BENZER et al. (2001), MORLEY (2003), e BARRIOS (2015). Essa redução do consumo de energia na moagem com a utilização da prensa de rolos se dá devido as microtrincas produzidas durante a prensagem do material, consequência da cominuição interparticular de alta pressão para partículas menores que a abertura entre os rolos (GAP) e da ruptura por compressão, para as partículas maiores que a abertura entre os rolos.

3.2 Deslamagem

A recuperação mássica da deslamagem do material prensado foi análoga à recuperação mássica do material sem prensar, evidenciando que a prensa de rolos não provoca uma geração excessiva de finos. MAZZINGHY et al. (2015) também não observaram queda da recuperação da deslamagem com a utilização da prensa de rolos, corroborando com o resultado obtido nesse trabalho. Segundo MOLREY (2003) a geração excessiva de finos depende das características do minério e da pressão de trabalho da prensa de rolos.

3.3 Flotação

Na figura 5 são apresentadas as recuperações metálicas e mássicas em função dos teores de sílica dos concentrados dos testes realizados com as amostras prensadas e não prensadas. Observa-se que as recuperações mássicas e metálicas foram maiores para os minérios prensados, sendo as maiores diferenças entre essas recuperações observadas para teores de sílica nos concentrados iguais a 1%. Esse aumento de performance na flotação com a utilização da prensa de rolos foi observado também por MORLEY (2006). Em seu trabalho, o autor mostrou que as microtrincas estruturais podem ser uma excelente ferramenta metalúrgica, proporcionando melhor recuperação na flotação e melhorias no espessamento e filtragem.

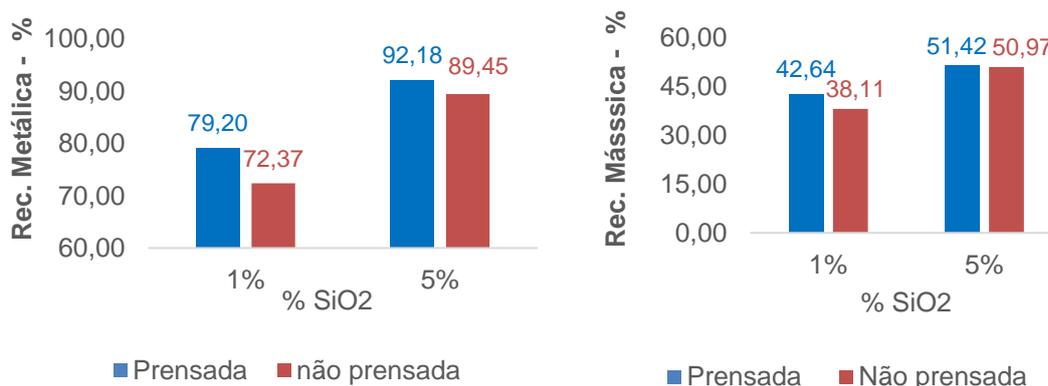


Figura 5. Recuperações metálicas e mássicas dos ensaios de flotação.

Uma outra hipótese que poderia justificar a melhor performance da flotação para a amostra prensada seria uma maior quantidade de superfície nova presente na amostra prensada, causada pelas microtrincas geradas durante a prensagem. A figura 6 apresenta fotomicrografias de luz refletidas de duas partículas de hematita,

passantes em 425 μ m e retidas em 212 μ m. Observa-se que apenas a partícula prensada apresentou uma trinca nítida, apesar da partícula não prensada conter inclusões de quartzo, o que poderia favorecer o aparecimento de microtrincas.

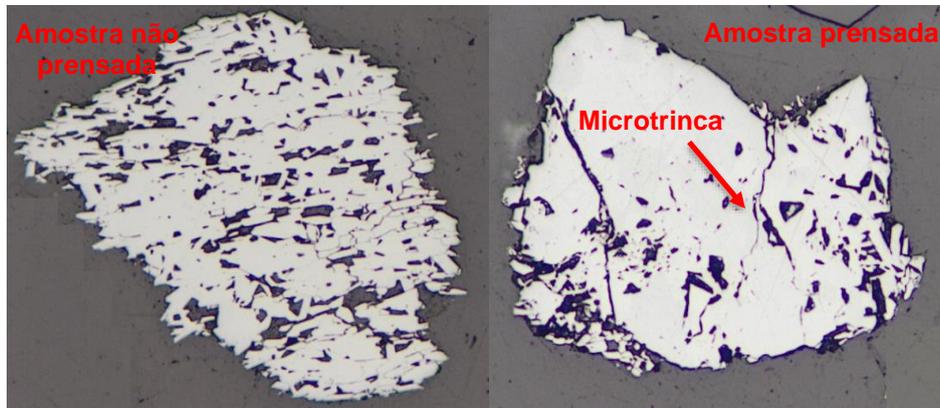


Figura 6. Fotomicrografias de luz refletida.

3.4 Remoagem

As amostras foram remoídas em laboratório nas mesmas condições, apenas a energia aplicada em cada tarefa de moagem foi alterada. A figura 7 apresenta os consumos específicos em função dos teores de sílica para as condições estudadas. Observa-se que a redução do consumo específico de energia com a utilização da prensa foi de aproximadamente 25%, considerando uma granulometria do produto do ensaio de remoagem igual a 86% passante em 44 μ m.



Figura 7. Consumo específico dos ensaios de moabilidade da remoagem em função do teor de sílica do concentrado para as amostras prensadas e não prensadas.

4 CONCLUSÃO

A utilização da prensa de rolos reduziu abruptamente a granulometria da alimentação da moagem primária, sendo o F80 reduzido em aproximadamente 70%.

O consumo específico de energia nos ensaios de moagem com a amostra prensada foi 23% menor.

Os ensaios de deslamagem mostraram que a utilização da prensa não provocou uma geração excessiva de finos, uma vez que a recuperação da deslamagem da amostra prensada foi análoga à recuperação da amostra sem prensar.

Nos ensaios de flotação em bancada a utilização da prensa de rolos elevou as recuperações mássicas/metálicas, principalmente para os ensaios que produziram concentrados com qualidade de pellet feed Premium, que apresentaram elevações de aproximadamente 12% e 9% nas recuperações mássicas e metálicas, respectivamente.

Nos ensaios de remoagem a utilização da prensa de rolos reduziu o consumo específico de energia em aproximadamente 25%.

Em suma, este estudo mostrou que a prensa de rolos reduz o consumo específico de energia nas etapas de cominuição, incrementa a recuperação da flotação e não diminui a recuperação da deslamagem, elucidando os benefícios das microtrincas geradas durante a prensagem do material.

Agradecimentos

Agradecimento especial à Anglo American pelo apoio na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 BARRIOS, G.K.P. Modelagem da Prensa de Rolos Usando o Método dos Elementos Discretos com Acoplamento Dinâmico e o Modelo de Substituição de Partículas. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015
- 2 BENZER, H. et al. Modelling cement grinding circuits. Minerals Engineering, v. 14, n. March, p. 1469–1482, 2001
- 3 DONDA, J.D. (2003). Uma metodologia para prever o consumo específico de energia na remoagem de concentrados de minério de ferro. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais, 115 p. (Tese, Doutorado, Engenharia Metalúrgica e de Minas)
- 4 MAZZINGHY, D.B.; RUSSO, J.F.C.; MAIA, F.; COSTA, M.L.; PEREIRA, A.E.; COUTINHO, R.O.; ALVES, R.M.; SCHNEIDER, C.L.; Avaliação do início de operação das prensas de rolos do projeto Minas-Rio. ABM Week; 2015Aug 17-21; Rio de Janeiro, Brasil. p. 798-805
- 5 MORLEY, C. (2003): HPGR in hard rock applications Mining Magazine. 2003, September Edition, pp118-127
- 6 MORLEY, C.; High Pressure Grinding Rolls-A Technology Review, in Advances of Comminution. Edited by Kawatra, S. K., SME, Littleton, CO, USA, 2006
- 7 ROWLAND, C. A. (1986) Ball Mill Scale-Up – Diameter Factors. In: SOMASUNDARAM, P. Advances in Mineral Processing. New York, Society of Mining Engineers, Inc., American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, p. 605-617