

CAMPANHA PILOTO DE MOAGEM DOS ITABIRITOS COMPACTOS DA SERRA AZUL¹

*Antonio Schettino Gomes Pereira²
Pedro Henrique Meijon²
Eliezer Antonio Felipe³
Homero Delboni Junior⁴
Bianca Foggiatto⁵*

Resumo

A assim denominada Serra Azul localizada na área central do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais inclui grandes volumes de itabiritos que apresentam, entre outras características, combinação de teores relativamente baixos de ferro e alta tenacidade. O presente trabalho descreve os resultados obtidos durante a campanha de ensaios de moagem autógena, semi-autógena e bolas de amostras oriundas de tais recursos em área de concessão da Mineração Usiminas. Os resultados serviram de base para a seleção da rota de processo e o dimensionamento de equipamentos do circuito de moagem primária da Mineração Usiminas.

Palavras-chave: Itabiritos compactos; Moagem autógena; Moagem semi-autógena; Moagem de bolas.

PILOT PLANT GRINDING CAMPAIGN OF THE SERRA AZUL'S COMPACT ITABIRATES

Abstract

The Serra Azul deposit is located in the central area of the Iron Quadrangle in Minas Gerais state, Brazil. This deposit includes large volumes of iron ore with relatively low grade and high hardness. This work describes a grinding pilot plant campaign carried out on samples from the Mineração Usiminas area. The results obtained were the basis for scaling up and designing the primary grinding circuit for Mineração Usiminas.

Key words: Compact itabirites; Autogenous grinding; Semi-autogenous grinding; Ball mill grinding.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

² Engenheiro de Minas – Mineração Usiminas.

³ Especialista em Processos - Mineração Usiminas.

⁴ Engenheiro de Minas, M.E., Ph.D. - Consultor da HDA Serviços.

⁵ Engenheiro de Minas, M.E., Consultor da HDA Serviços.

1 INTRODUÇÃO

A Serra Azul está localizada na parte oeste do quadrilátero ferrífero, na região central de Minas Gerais. As reservas do Sistema Serra Azul atraem garimpeiros desde o século XIX, assim como mineradoras interessados no ouro, topázio, bauxita ou minério de ferro que ocorrem na área.

Até recentemente a exploração foi concentrada em pouco mais de uma dezena de pequenas e médias mineradoras, todas de capital nacional. No entanto, atualmente grandes empresas estão instaladas na região e, devido à escassez de minérios com alto teor de ferro, os itabiritos compactos estão sendo estudados em função de apresentarem reservas de grande volume nesta região. A finalidade de tais estudos é o desenvolvimento de rota de processo de beneficiamento de tais minérios, visando a produção de concentrados com alto teor de ferro.

Os itabiritos compactos apresentam teores de ferro que variam na faixa entre 30% e 50%. O beneficiamento de tais minérios inclui estágios de cominuição, classificação e concentração, como forma de geração de produtos com baixo teor de sílica e alto teor de Fe.

Sendo a cominuição uma etapa crítica para o desenvolvimento de uma rota de processo robusta para estes minérios, uma campanha piloto de moagem foi conduzida pela Mineração Usiminas, sendo os resultados aqui descritos.

2 METODOLOGIA

2.1 Amostras

A partir de uma ampla campanha de amostragem, realizada pela equipe da Mineração Usiminas (MUSA), foram formadas amostras representativas de cada um dos litotipos presentes na Serra Azul, que seguem abaixo listados:

- itabirito semi-compacto (ISC);
- itabirito compacto (IC); e
- itabirito compacto maciço (IM).

A classificação dos itabiritos compactos tem como principal critério a granulometria do minério, referida como a porcentagem retida na malha 6,3 mm, ou W1, conforme listada abaixo:

- itabiritos semi-compactos: $30\% < W1 < 55\%$;
- itabiritos compactos: $55\% < W1 < 70\%$; e
- itabirito maciço: $W1 > 70\%$.

Com o intuito de representar a futura alimentação da usina de tratamento de minérios, foi criada uma mistura de litotipos, composta por 59% de IM, 23% de IC e 18% ISC. A composição desta mistura, denominada de *blend*, teve como base a geologia regional das áreas da MUSA.

Assim, um total de 300 toneladas de minérios compactos foi amostrado nas três minas da MUSA. Estes minérios foram classificados conforme a sua litologia e encaminhados para a preparação de amostras a serem submetidas a testes em escala piloto.

2.2 Preparação de Amostras

A etapa de preparação incluiu a homogeneização, britagem e peneiramento dos litotipos individuais, conforme o fluxograma da Figura 1.

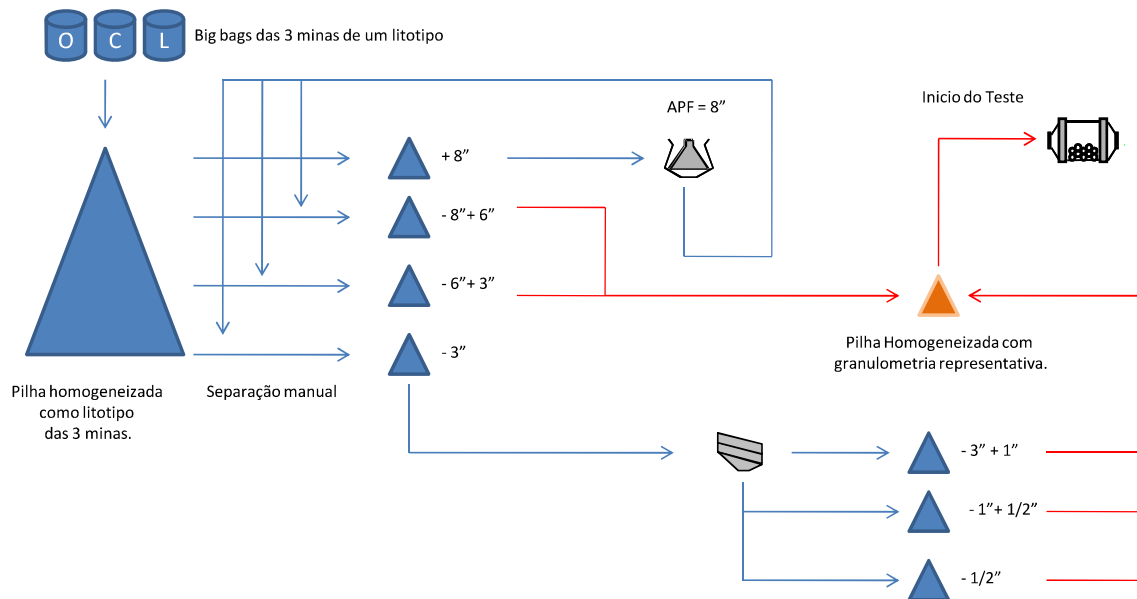


Figura 1. Classificação quanto ao tamanho.

Cinco frações granulométricas foram obtidas para cada litotipo (-8" + 6", -6" + 3", -3" + 1", -1" + 1/2" e -1/2"). Cada uma destas frações foi homogeneizada individualmente em pilhas cônicas. O material classificado permitiu o controle rigoroso durante a confecção do *blend* a ser alimentado a usina piloto, o qual apresentou em cada faixa granulométrica 59% em massa de IM, 23% em massa de IC e 18% em massa de ISC. Desta maneira foram preparadas as misturas por faixa granulométrica, as quais seguiam a distribuição preestabelecida.

2.3 Circuitos de Moagem

Cinco circuitos distintos de moagem primária foram planejados para a campanha de testes piloto.

Os testes de moagem primária autógena (AG) e semi-autógena (SAG) foram executados em moinho *Koppers* com dimensões nominais de 6 pés de diâmetro por 2 pés de comprimento, dotado de grelhas com aberturas de 1/2" e *pebble ports* com aberturas quadradas de 2 1/2" de aresta, além do *trommel* com abertura de 1/2". O material retido no *trommel* foi britado em britador cônico e retornado à alimentação do moinho.

A fração passante no *trommel* era encaminhada a um classificador espiral, com especificação de produto (*overflow*) de 90% retido na malha 0,150 mm (100# Tyler). A fração de finos ou produto foi submetida a filtração e estocagem, enquanto que a fração de grossos (*underflow*) era estocada para os ensaios posteriores no moinho de bolas.

O circuito de moagem em moinho de bolas utilizado foi configurado sob modo direto com fechamento por classificador espiral. O moinho apresentava dimensões nominais de 3 pés de diâmetro por 4 pés de comprimento, velocidade equivalente a

69% da velocidade crítica e grau de enchimento de 35% do volume interno da câmara de moagem. A carga de bolas utilizada nos ensaios contou com tamanho máximo de 76 mm (3").

O circuito composto pelo moinho de bolas foi alimentado tanto com o *blend* britado quanto (rota convencional) com o minério proveniente do *underflow* do classificador espiral dos testes com moagem AG e SAG.

Neste circuito o classificador em espiral tinha também como especificação de produto (*overflow*) de 90% retido na malha 0,150 mm (100# Tyler).

Na Tabela 1 são destacadas as diferenças entre cada um dos cinco circuitos avaliados.

Tabela 1. Circuitos de Moagem⁽¹⁾

Circuito	Moinho	Britagem	Rock Ports	Distribuição de Bolas	Alimentação
1	Autógeno	De Pebbles - APF = 1/2"	8 de 2,5" x 2,5"	-	Blend
2	Semi-Autógeno	De Pebbles - APF = 1/2"	8 de 2,5" x 2,5"	50%(4"), 32%(3,5"), 18%(3")	Blend
3	Bolas	Multi-estagiada - APF = 1/2"	-	31%(3"), 39%(2,5"), 19%(2"), 8%(1,5"), 3%(1")	Blend
4	Bolas	-	-	31%(3"), 39%(2,5"), 19%(2"), 8%(1,5"), 3%(1")	UF do classificador do circuito 1
5	Bolas	-	-	31%(3"), 39%(2,5"), 19%(2"), 8%(1,5"), 3%(1")	UF do classificador do circuito 2

Para cálculo do consumo energético, os moinhos dispunham de kilowatímetros digitais, nos quais eram apresentadas potência instantânea e potência integrada em períodos regulares.

3 RESULTADOS

Os principais parâmetros avaliados durante os testes em escala piloto foram a vazão de alimentação, a carga circulante e o consumo energético. O sumário dos resultados obtidos para cada um dos circuitos é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados das campanhas de Moagem⁽¹⁾

Circuito	Taxa de Alimentação (kg/h)	Carga Circulante (%)	Consumo(Kwh/t)
1	1850	21	5,10
2	2915	14	4,40
3	568	133	13,00
4	541	267	8,67
5	539	268	9,00

Observa-se que a maior vazão de alimentação e menor carga circulante (recirculação de *pebbles*) foram obtidas na configuração SAG. Já a configuração AG apresentou uma queda de 35% de vazão de alimentação e um consumo energético 16% maior que a alternativa SAG.

Consolidando os circuitos acima em três circuitos integrados de moagem foi possível comparar o consumo energético de cada configuração.

Para efeito de comparação do circuito integrado foi necessário estimar o consumo energético específico relativo à etapa de britagem multi-estagiada. Atribuiu-se neste caso, à título de estimativa, um consumo de 0,75 kWh/t por etapa de britagem, o que totaliza 2,25 kWh/t para as etapas secundária, terciária e quaternária.

Com base nos critérios acima descritos, a Tabela 3 apresenta os valores obtidos para cada uma das rotas, quais sejam:⁽²⁾

- convencional: britagem multi-estagiada e moagem em moinho de bolas;
- FABC: moagem AG, britagem de *pebbles* e moagem em moinho de bolas; e
- SABC: moagem SAG, britagem de *pebbles* e moagem em moinho de bolas.

Tabela 3. Comparação entre os circuitos integrados

Circuito	Consumo de Energia (kWh/t)				Total
	Britagem 2, 3 e 4	Moagem AG/SAG	Moagem bolas	Britagem de Pebbles	
Convencional	2,25	-	13,00	-	15,25
FABC	-	5,10	8,67	0,16	13,93
SABC	-	4,44	9,00	0,11	13,55

4 SUMÁRIO, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os consumos energéticos específicos obtidos nos circuitos de moagem analisados em escala piloto são apresentados no gráfico da Figura 2.

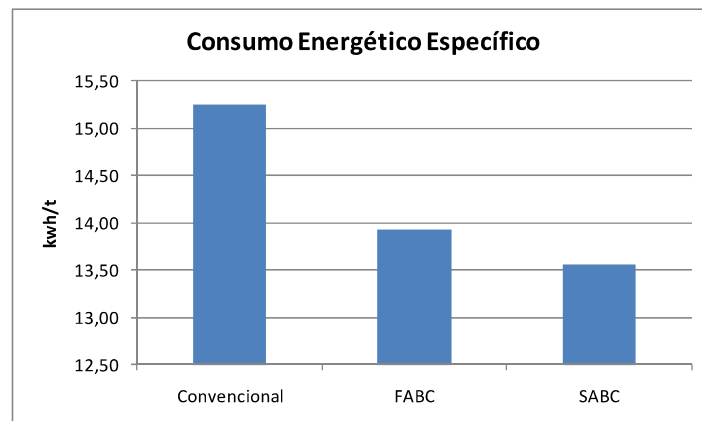


Figura 2. Comparação do consumo energético.

A Figura 2 mostra que os consumos energéticos específicos para as rotas FABC e SABC foram bastante próximos. Tendo por base o circuito convencional conclui-se que houve redução no consumo energético específico de 9% e 12%, respectivamente para as rotas FABC e SABC.

Na moagem, as rotas FABC e SABC apresentam consumos energéticos próximos ao valor obtido na rota convencional, mas ao se somar os valores referentes às britagens a diferença se inverte e o circuito integrado convencional apresenta o maior consumo energético por tonelada alimentada.

A seleção da rota de processo para o beneficiamento de itabiritos compactos deverá incluir alternativas de moagem autógenas e semi-autógenas. Ambas alternativas se mostraram viáveis do ponto de vista operacional e do ponto de vista do consumo energético. O emprego do próprio minério como provedor de corpos moedores é, portanto, adequado sob o ponto de vista energético, bem como apresenta potencial elevado de diminuição de consumo de corpos moedores metálicos na moagem, cuja combinação representa portanto, redução dos custos operacionais de moagem primária do futuro circuito industrial.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Mineração Usiminas pelo apoio e permissão de publicar os resultados.

REFERÊNCIAS

- 1 CIMM TECNOLOGIAS Y SERVICIOS S.A - Programa de pruebas piloto de molienada SAG y molienda de bolas. INFORME FINALPROYECTO 31/1568, 2010 (Relatório Interno).
- 2 DELBONI Jr., H., FOGGIATTO, B. - Desenvolvimento de Processo para Beneficiamento de Itabiritos Compactos da Usiminas – Parte III - Campanha Piloto de Cominuição, Simulações e Dimensionamentos. HDA Serviços Ltda, 2010 (Relatório Interno).