

ROTAS DE PROCESSO PARA APROVEITAMENTO DE ITABIRITOS POBRES DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO¹

Neymayer Pereira Lima²
Nilton Torquato²
Josemar Costa²
Rodrigo Finá²

Resumo

O Brasil é o maior produtor de minério de ferro, representando aproximadamente 18% da produção mundial. As reservas (medidas + indicadas) brasileiras de minério de ferro são da ordem de 29 bilhões de toneladas, assim distribuídas: Minas Gerais (67%), Pará (16%), Mato Grosso do Sul (15,5%) e demais estados (1,5%). As reservas brasileiras representam 7% das reservas mundiais. As reservas do estado de Minas Gerais apresentam teores de Fe mais baixos que as reservas dos estados do Pará e Mato Grosso do Sul. A produção industrial desde a década de 1940 também contribuiu para a redução do teor de Fe das reservas de Minas Gerais. Os principais processos de tratamento de minérios de ferro empregados nas usinas do Quadrilátero Ferrífero são compostos por etapas de britagem, classificação, concentração gravítica (*jigues*), concentração magnética, deslamagem, flotação, espessamento e filtragem. A aplicação de moagem ainda é restrita nas usinas existentes no Quadrilátero Ferrífero. A elevada demanda por produtos de minérios de ferro e a exaustão de reservas com elevados teores de Fe no Quadrilátero Ferrífero tem levado ao desenvolvimento de projetos para aproveitamento de itabiritos pobres. Nestes casos, a rota de processos consiste na cominuição de todo ROM para posterior aplicação de processos de concentração. Este trabalho descreve as opções de rotas de cominuição e concentração aplicadas para aproveitamento de itabiritos pobres do Quadrilátero Ferrífero. As rotas foram definidas visando redução de capex e opex, redução na geração de ultrafinos (lamas) e aumento de recuperação metálica.

Palavras-chave: Itabiritos; Rotas de processo; Quadrilátero ferrífero.

ROUTES OF PROCESS AIMING THE EXPLOITATION OF POOR ITABIRITES OF THE IRON QUADRANGLE

Abstract

Brazil is the largest producer of iron ore, representing approximately 18% of world production. Brazilian reserves (measured + indicated) of iron ore are about 29 billion tons, distributed as follows: Minas Gerais (67%), Pará (16%), Mato Grosso do Sul (15.5%) and other states (1.5%). The Brazilian reserves represent 7% of world reserves. Minas Gerais reserves have lower degree of Fe than the reserves of the states of Para and Mato Grosso do Sul. Industrial production since 1940's also contributed to the reduction of Fe degree of Minas Gerais's reserves. The main treatment processes employed on the iron ore plants in the Iron Quadrangle is composed of stages of crushing, classification, gravity concentration, magnetic concentration, desliming, flotation, thickening and filtration. The application of grinding is still limited in existing plants in the Iron Quadrangle. The high demand for iron ore products and the exhaustion of high degree of Fe on the reserves in the Iron Quadrangle has led to development of projects to exploit poor itabirites. In these cases, the process route consists of the comminution of all ROM for subsequent application of concentration process. This paper describes the options of routes of comminution and concentration applied to exploit the poor itabirites in the Iron Quadrangle. The routes were defined in order to reduce capex and opex, reduction in the generation of ultrafines and increase of metal recovery.

Key words: Itabirites; Process routes; Iron quadrangle.

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 Gerência de Desenvolvimento de Projetos, Vale, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento de minérios de ferro no Quadrilátero Ferrífero tem sido feito extensivamente desde a década de 1940, onde granulados, *sinter feed* e *pellet feed* têm sido produzidos desde então. As principais operações unitárias empregadas para a obtenção destes produtos de minérios de ferro são:

- britagem: geralmente são aplicados quatro estágios de britagem;
- classificação através de peneiras e classificadores espirais. São obtidas as seguintes frações granulométricas: +8 mm, -8+1 mm, -1+0,150 mm e -0,150 mm;
- concentração por jigagem da fração -8+1 mm;
- concentração magnética da fração -1+0,150 mm;
- deslamagem e concentração da fração -0,150 mm. A concentração da fração -0,150 mm deslamada é feita por processos de concentração magnética e/ou flotação;
- espessamento da lama para posterior disposição em barragens; e
- espessamento e filtragem do *pellet feed* para posterior embarque.

Algumas das operações unitárias acima descritas podem não ser aplicadas em algumas das usinas em operação do Quadrilátero Ferrífero, devido às qualidades do *run of mine* e das especificações de mercado para os produtos comercializados.

A operação de moagem para toda a massa de *run of mine* tem sido empregada apenas em algumas usinas de tratamento de minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Em outras usinas esta operação unitária tem sido empregada para cominuição de rejeitos das etapas de concentração gravítica e concentração magnética.

O elevado aproveitamento das reservas de minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero, ocorrida desde a década de 1940, levou ao esgotamento dos minérios de elevados teores de ferro, culminando assim com a maior oferta de itabiritos pobres. Alguns projetos têm sido desenvolvidos visando o aproveitamento destes itabiritos, visando atendimento à elevada demanda do mercado. Outros projetos também têm sido desenvolvidos para adequação de usinas existentes para tratamento dos itabiritos pobres do Quadrilátero Ferrífero. Nestes casos, torna-se necessária a cominuição de toda a massa de *run of mine*, em malhas abaixo de 0,150 mm, permitindo assim a concentração para produção de *pellet feed*. Assim, os maiores itens de custo das usinas novas e adaptadas do Quadrilátero Ferrífero serão relacionados à moagem, ou seja, consumo de corpo moedor e energia elétrica, além do elevado consumo de reagentes de flotação.⁽¹⁾

Este trabalho descreve as opções de moagem e concentração para aproveitamento de itabiritos pobres do Quadrilátero Ferrífero. As opções de moagem contemplam a utilização de moinhos de bolas operando em série ou em paralelo e a utilização de dois estágios de classificação no circuito de moagem. Estas opções visam a redução de *capex* e *opex*, a redução na geração de lamas e a redução dos consumos de energia e de corpo moedor. A separação do produto moído e deslamado em duas frações granulométricas (grossa e fina) para aplicação de processos de concentração por flotação e separação magnética foi avaliada, visando aumento de recuperação metálica, redução no consumo de reagentes e maior aproveitamento de ativos das usinas existentes a serem adaptadas ao tratamento de itabiritos pobres.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados testes em escala piloto de moagem de bolas e de concentração (flotação e concentração magnética) a partir de amostras típicas de itabiritos pobres. Os testes de moagem foram feitos considerando a aplicação de moagem em um e em dois estágios com duplo estágio de classificação por ciclonação. Foram feitas amostragens durante a realização dos ensaios para fechamento de balanços de massas e determinação do consumo específico de energia.

Foi feita avaliação de desgaste para diferentes tamanhos de corpos moedores. Foram avaliados os desgastes de corpos moedores de 2,0 polegadas, 2,5 polegadas, 3,0 polegadas e 3,5 polegadas de diâmetro. Estes resultados irão auxiliar na definição da melhor carga de moagem, como forma de otimização do custo de operação da moagem.

O produto moído e deslamado foi classificado em duas frações granulométricas. A fração grossa representa o *underflow* do 1º estágio de deslamagem, com tamanho máximo de partículas de 0,300 mm e aproximadamente 20% de partículas menores que 0,045 mm. A fração fina corresponde ao *underflow* do 2º estágio de deslamagem, com aproximadamente 70% de partículas menores que 0,045 mm. A fração grossa foi submetida a ensaios de flotação por células mecânicas. A fração fina, juntamente com o rejeito da flotação da fração grossa, foram submetidos a ensaios de concentração magnética de alta intensidade visando a obtenção de rejeito com baixo teor de ferro, sendo o concentrado submetido a ensaios de concentração por flotação para obtenção de concentrado com baixo teor de SiO₂. A separação entre os circuitos de concentração de partículas grossas e finas foi avaliada com base nos seguintes aspectos:⁽²⁾

- diferenças de comportamentos na flotação entre partículas grossas e finas;
- elevado consumo de reagentes das partículas finas; e
- dificuldades para obtenção de rejeito com baixo teor de ferro (< 12%) na flotação.

A Figura 1 mostra o fluxograma simplificado dos testes piloto.

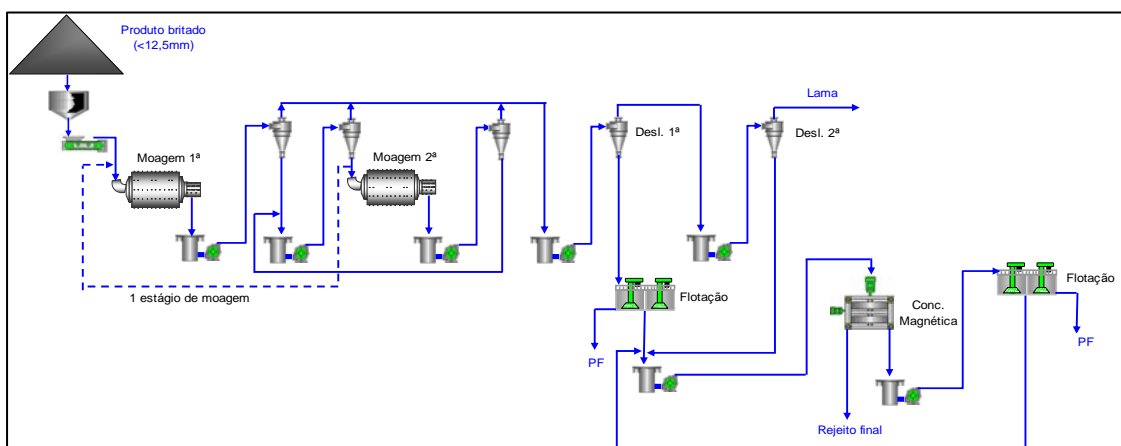


Figura 1. Fluxograma simplificado dos testes piloto de moagem e concentração.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Moagem

As Figuras 2 e 3 mostram os fluxogramas dos testes de moagem em um estágio e em dois estágios, com dois estágios de classificação.

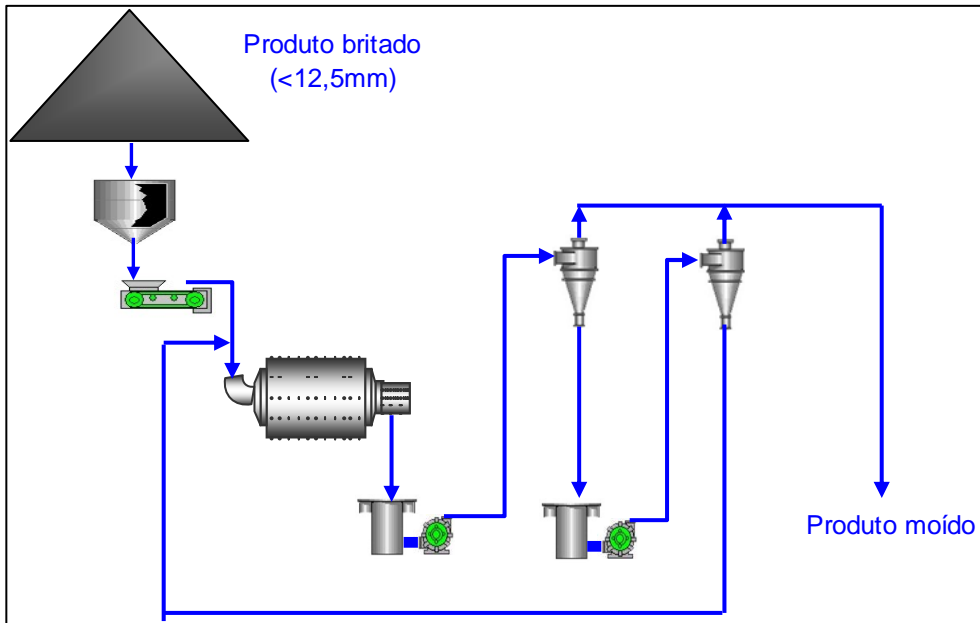


Figura 2. Fluxograma do teste piloto de moagem em um estágio com dois estágios de classificação.

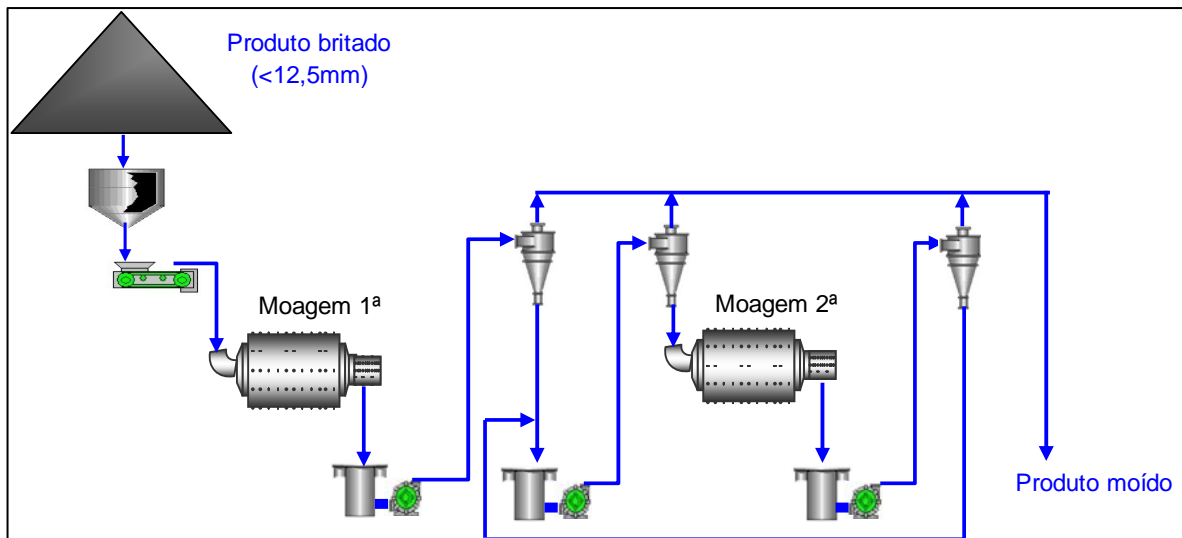


Figura 3. Fluxograma do teste piloto de moagem em dois estágios com dois estágios de classificação.

A Tabela 1 mostra o resumo dos resultados entre os circuitos de moagem.

Tabela 1. Resumo dos resultados dos ensaios de moagem

Parâmetros	Moagem em 1 estágio	Moagem em 2 estágios
A80 (mm)	0,365	0,372
P80 (mm)	0,110	0,117
Consumo de energia (kwh/t)	4,51	3,67
Lama (%)	10,26	8,33

A Tabela 1 mostra que os valores de A80 e P80 foram muito próximos para os dois circuitos de moagem. Os resultados indicam uma redução de aproximadamente 20% no consumo específico de energia e na geração de lama com aplicação da moagem em dois estágios.

Além das reduções do consumo de energia e da geração de lama, a moagem em dois estágios possibilita a utilização de diferentes tamanhos de corpos moedores, com conseqüente redução no consumo deste item. Testes de desgaste mostraram que corpos moedores de 3 polegadas apresentaram taxa de desgaste 30% inferior a corpos moedores de 2 polegadas.

3.2 Concentração

Conforme mostrado na Figura 1, o *underflow* do 1º estágio de deslamagem foi direcionado para o 1º estágio de flotação formado por estágios de limpeza (*rougher*, *cleaner* e *re-cleaner*) em circuito aberto através de células mecânicas. O rejeito deste circuito juntou-se ao *underflow* do 2º estágio de deslamagem para alimentação dos concentradores magnéticos. A separação entre dois circuitos de concentração foi motivada pelos seguintes aspectos:⁽²⁾

- diferenças de comportamentos entre as frações granulométricas no processo de flotação. Estudos realizados mostram diferenças nas probabilidades de colisão, adesão e descolamento entre as frações granulométricas, além de diferenças na adsorção e consumo de reagentes de flotação;
- dificuldades de recuperação de partículas finas de minerais de ferro no processo de flotação. Testes de flotação realizados com as frações granulométricas juntas indicaram a possibilidade de obtenção de rejeitos com mínimo de 12% de ferro;
- redução no consumo de reagentes de flotação através da utilização de equipamentos de concentração magnética de alta intensidade; e
- maior aproveitamento de ativos através da utilização de separadores magnéticos existentes nas usinas em processo de adequação para processamento de itabiritos pobres. Estes equipamentos têm sido utilizados para concentração das frações finas (< 1,0 mm) obtenção de *sinter feed*. Este item resulta também em redução do custo de investimento com aquisição de equipamentos novos.

A Figura 4 mostra a distribuição granulométrica dos produtos dos dois estágios de deslamagem, sendo o *underflow* do 1º estágio a alimentação da 1ª etapa de flotação e o *underflow* do 2º estágio a alimentação nova da concentração magnética.

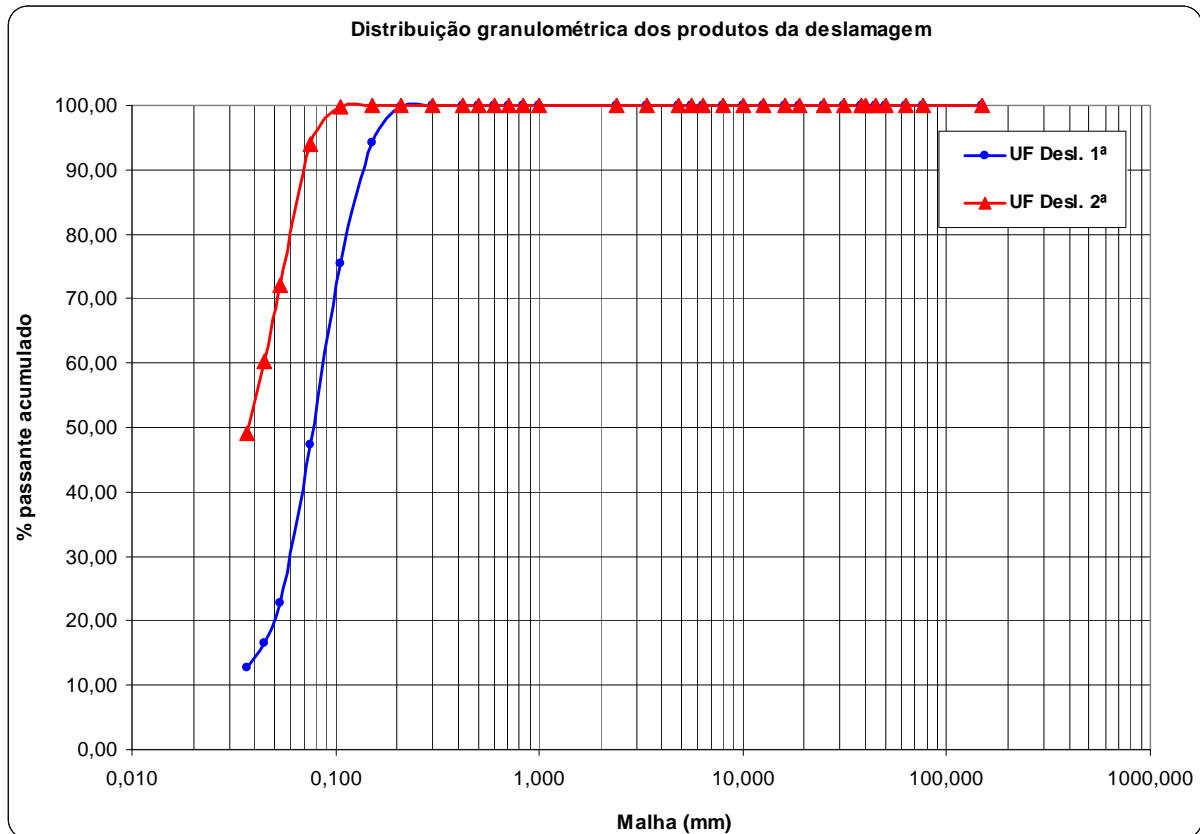


Figura 4. Distribuição granulométrica dos produtos dos estágios de deslamagem.

A Figura 4 mostra que a alimentação do 1º estágio de flotação apresenta apenas 17% de partículas menores que 0,045 mm, o que tende a facilitar a operação deste circuito, com possibilidade de obtenção de rejeito com baixo teor de ferro.

A Tabela 2 mostra os resultados dos testes piloto de flotação realizados com o *underflow* do 1º estágio de deslamagem.

Tabela 2. Resultados dos testes de flotação piloto com o *underflow* do 1º estágio de deslamagem

Fluxo	Rec. Massa (%)	Fe (%)	SiO ₂ (%)
Alimentação	100,00	41,46	40,16
Concentrado rougher	50,32	66,26	4,63
Rejeito rougher	49,68	16,34	76,14
Concentrado cleaner	40,86	68,99	0,82
Rejeito cleaner	9,46	54,49	21,09
Rejeito total	59,14	22,45	67,34

Os resultados da Tabela 2 mostram a possibilidade de obtenção de concentrado final com 0,82% de SiO₂ e rejeito com 22,5% de Fe. A pouca presença de finos não afetou a estabilidade da espuma de flotação. O rejeito desta etapa foi submetido a testes de concentração magnética juntamente com o *underflow* do 2º estágio de deslamagem.

Os resultados dos testes piloto de concentração magnética estão mostrados na Tabela 3, indicando a possibilidade de obtenção de rejeito final com teor de Fe inferior a 8%.

Tabela 3. Resultados dos testes de concentração magnética

Fluxo	Rec. Massa (%)	Fe (%)	SiO ₂ (%)
Alimentação	100,00	32,83	52,56
Concentrado	49,59	58,32	15,90
Rejeito final	50,41	7,75	88,62

As Tabelas 4 e 5 mostram os resultados finais entre as duas opções de rotas de moagem e concentração: moagem em um estágio com concentração por flotação x moagem em dois estágios com concentração por flotação e concentração magnética.

Tabela 4. Resultados da rota de moagem em um estágio com concentração por flotação

Fluxo	Rec. Massa (%)	Fe (%)	SiO ₂ (%)
Produto moagem	100,00	43,17	36,03
Lama	10,26	33,94	37,04
Concentrado final	51,12	68,50	0,85
Rejeito flotação	38,62	12,10	82,40
Rejeito final	48,88	16,68	72,88
Índice de seletividade de Gaudin		19	

Tabela 5. Resultados da rota de moagem em dois estágios com concentração por flotação e concentração magnética

Fluxo	Rec. Massa (%)	Fe (%)	SiO ₂ (%)
Produto moagem	100,00	43,17	36,03
Lama	8,33	32,61	38,98
Concentrado final	54,90	68,50	0,85
Rejeito concentração magnética	36,77	7,75	88,62
Rejeito final	45,10	12,34	79,45
Índice de seletividade de Gaudin		23	

Os resultados das Tabelas 4 e 5 mostram aumento de recuperação em massa de aproximadamente 4% para a rota de moagem em dois estágios com concentração por flotação e concentração magnética, além de maior seletividade de Gaudin.

4 CONCLUSÃO

O esgotamento das reservas de minérios de ferro de elevados teores do Quadrilátero Ferrífero, aliado a elevada demanda de produtos de minérios de ferro, têm levado ao desenvolvimento de projetos novos e de adequações de usinas para aproveitamento de itabiritos pobres. As operações de moagem, flotação e concentração magnética serão os principais processos aplicados nestes projetos. Resultados de testes piloto mostraram que a rota de moagem em dois estágios com duplo estágio de classificação reduziram em 20% a geração de lama e o consumo específico de energia, além de possibilitar a redução de consumo de corpos moedores. A concentração fracionada por flotação e separação magnética de alta intensidade possibilitou a obtenção de rejeito com teor de ferro inferior a 8%, sendo de 12% o rejeito obtido com aplicação de flotação sem fracionamento do produto moído e deslamado.

REFERÊNCIAS

- 1 WILLS, B.A. Mineral Processing Technology. An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Material Recovery. 6th edition. 1997.
- 2 LIMA, N.P. Avaliação do Processo de Flotação para Diferentes Frações Granulométricas. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, CPGEM. Universidade Federal de Minas Gerais. Março de 2010. p.166.