

## Análise do efeito da granulometria da sílica na flotação convencional reversa de minério de ferro

William Ricardo de Carvalho

MsC. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral. DEMIN/EM/UFOP

E-mail: wiricarv@barroco.com.br

Jader Martins

Professor Titular, Departamento de Engenharia de Minas/EM/UFOP

E-mail: jadermar@zaz.com.br

### Resumo

Foram executados ensaios de flotação convencional reversa de minério de ferro em uma etapa de desbaste (*rougher*). Os ensaios foram conduzidos para três diferentes distribuições granulométricas da sílica (abaixo de 75 $\mu$ m, global e acima de 75 $\mu$ m), variando a dosagem de coletor (50 e 70g/t), a percentagem de sólidos em polpa (40 e 50%) e a percentagem de sílica contaminante (20 e 30%), resultando em um total de 24 ensaios.

A distribuição grosseira de sílica apresentou menores resultados de rejeição de sílica, o que leva a uma possível utilização de apenas a distribuição de granulometria fina no processo com maiores valores de recuperação, quando comparadas com as demais distribuições.

**Palavras-chave:** Flotação, minério de ferro, tamanho de partícula, rejeição de sílica.

### Abstract

*Tests on the reverse froth flotation of rougher-stage iron ore were executed. Such tests were made for three different distributions of silica particle size (below 75  $\mu$ m, global and above 75  $\mu$ m). Collector dosage (50 and 70g/t), pulp density (40 and 50%) and the silica content (20 and 30%) were modified, resulting in twenty-four tests.*

*Distribution of a coarser silica particle size presented lower results of silica rejection. In comparison to other silica particle sizes, silica rejection is increased with the utilization of finer silica particle size distribution in the process*

**Keywords:** Froth flotation, iron ore, particle size, silica rejection.

## 1. Introdução

O tamanho das partículas minerais envolvidas no processo de flotação interfere nos resultados de recuperação como apresentado por Li et. al.(1993) e Feng e Aldrcih (1999). Esse comportamento pode afetar a taxa de flotação como mostrado por Ahmed e Jameson (1985) e Hernániz e Calero (2001). No caso de flotação reversa de minério de ferro, onde a distribuição de sílica nas várias frações não é homogênea, esse efeito pode ser mais acentuado.

Esse trabalho analisa o efeito da granulometria da sílica na flotação convencional reversa de minério de ferro e quais as possíveis mudanças no processo de beneficiamento que provavelmente promoveriam benefícios em etapas subsequentes do processamento do minério em questão.

Para o proposto anteriormente, foram executados ensaios de flotação convencional em escala laboratorial, a fim de determinar e analisar o efeito da variação da percentagem de sólidos, da dosagem de coletor, da percentagem de sílica e, principalmente, da granulometria da sílica no processo de flotação, a partir de gráficos representativos da recuperação em função da granulometria, para cada item que sofrera variação. É importante lembrar que os ensaios são referentes a uma etapa de desbaste (*rougher*) do minério e que, nesse caso, deve-se considerar as taxas de sílica coletada denominada de rejeição de sílica.

## 2. Material e métodos

No presente trabalho, foram executados ensaios de flotação convencional (em batelada), em escala laboratorial de um minério de ferro artificial com percentagens de sílica definidas, e verificou-se o efeito da granulometria das partículas de sílica na flotação reversa de minério de ferro, no que diz respeito à recuperação e ao teor de ferro e à rejeição e ao teor de sílica. Para isso utilizou-se um concentrado de alto teor (Fe - 68,01% e 0,94% de sílica) fornecido pela Samarco Mineração S.A., que foi contaminado

com sílica (quartzito de alto teor fornecido pela Omega Mineração S.A.) com dois níveis percentuais, 20 e 30%, resultando em dois minérios artificiais com diferentes percentagens de sílica.

O quartzito foi devidamente preparado sendo britado, moído a úmido, secado, homogeneizado em uma pilha longitudinal e dividido em três partes com massas iguais e armazenado em sacos apropriados. Na primeira, o material apresenta-se todo abaixo da granulometria de 75 $\mu$ m ( $d_{50}$ ). Na segunda, o material encontra-se em uma distribuição granulométrica global, ou seja, apresenta as duas faixas de granulometria. E, na terceira, o material encontra-se todo acima da granulometria de 75 $\mu$ m. Esses níveis de granulometria foram utilizados na preparação dos minérios artificiais utilizados nos ensaios de flotação.

O concentrado foi todo homogeneizado em pilha longitudinal. A partir desse ponto, foi efetuada uma “lavagem” do mesmo em pH em torno de 10 e, em seguida, em torno de 4, a fim de se retirar os vestígios de reagentes, que, provavelmente, se encontrariam no material, uma vez que o mesmo passou por um processo de flotação.

A célula utilizada nos ensaios de flotação foi uma célula do tipo Denver do laboratório de tratamento de minérios do DEMIN, que tem um volume total de 4,0 litros e volume real de 2,7 litros.

Utilizou-se, como depressor do mineral de ferro, o amido gelatinizado com soda cáustica, em uma solução a 1% p/v. Como coletor de sílica, utilizou-se uma emulsão de amina com diamina, contendo 16,59% de diamina e 83,41% de amina em solução diluída a 1% v/v. Como controladores de pH, utilizou-se uma solução de soda cáustica (NaOH), bem como uma solução de ácido clorídrico (HCl), diluídas a 5% v/v. Foram mantidos constantes nos ensaios o pH da polpa (10,0), a dosagem de depressor (500g/t) e a velocidade do rotor (1500 rpm). Uma observação importante a ser feita é que os ensaios de flotação foram conduzidos até que todo o coletor fosse consumido, uma vez que, para que o nível da célula se mantivesse constante, adicionava-se água no mesmo pH da polpa.

Os parâmetros que sofreram variação em cada um dos ensaios foram a granulometria da sílica (três faixas granulométricas, menor do que 75  $\mu$ m, global, e maior do que 75 $\mu$ m); a percentagem de sólidos na alimentação (40 e 50%); a dosagem de coletor (50 e 70g/t) e a percentagem de sílica (20 e 30%).

## 3. Resultados

A seguir são apresentados os gráficos de recuperação de ferro em função da granulometria, assim como os gráficos de rejeição de sílica em função granulometria, para os ensaios executados na célula convencional.

As Figuras 1 e 2 apresentam a recuperação de ferro em função da granulometria dos ensaios de flotação convencional, onde se utilizou uma dosagem de amina de 50 e 70g/t para as diferentes percentagens de sólidos em polpa e percentagens de sílica adicionada.

As Figuras 3 e 4 apresentam a rejeição de sílica em função da granulometria dos ensaios de flotação convencional, onde se utilizou uma dosagem de amina de 50 e 70 g/t, para as diferentes percentagens de sólidos em polpa e percentagens de sílica adicionada.

## 4. Discussão

No gráfico apresentado pela Figura 1, nota-se que as recuperações de ferro apresentaram os maiores valores para os ensaios executados com a granulometria grosseira (>75 $\mu$ m), sendo que:

- Nos ensaios onde se utilizou uma percentagem de sólidos de 50%, com um teor de sílica contaminante de 20 e 30%, houve uma tendência de aumento até atingir um patamar na granulometria grosseira.
- Nos ensaios onde se utilizou uma percentagem de sólidos de 40%, com um teor de sílica contaminante de 20 e 30%, as recuperações mínimas foram constatadas para a granulometria global.

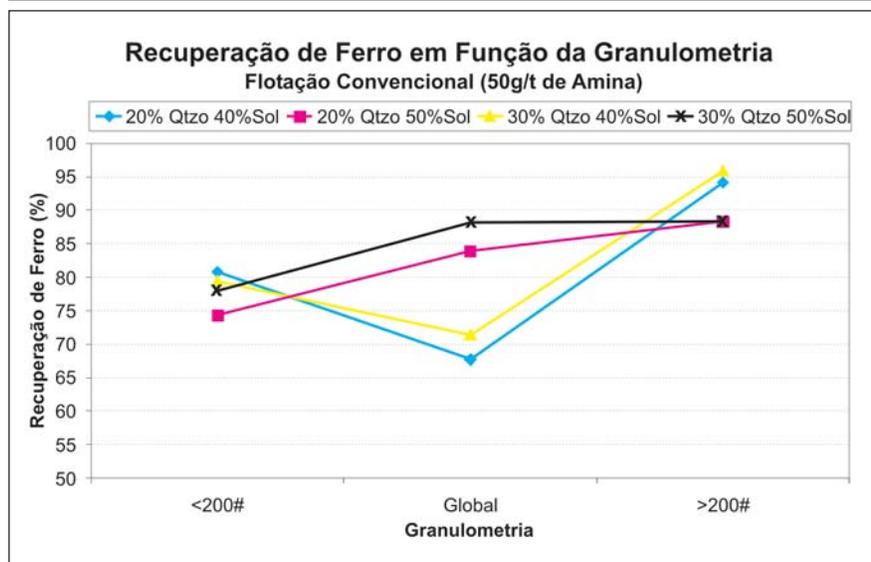


Figura 1 - Gráfico da recuperação de ferro em função da granulometria para os ensaios de flotação convencional com 50g/t de amina.

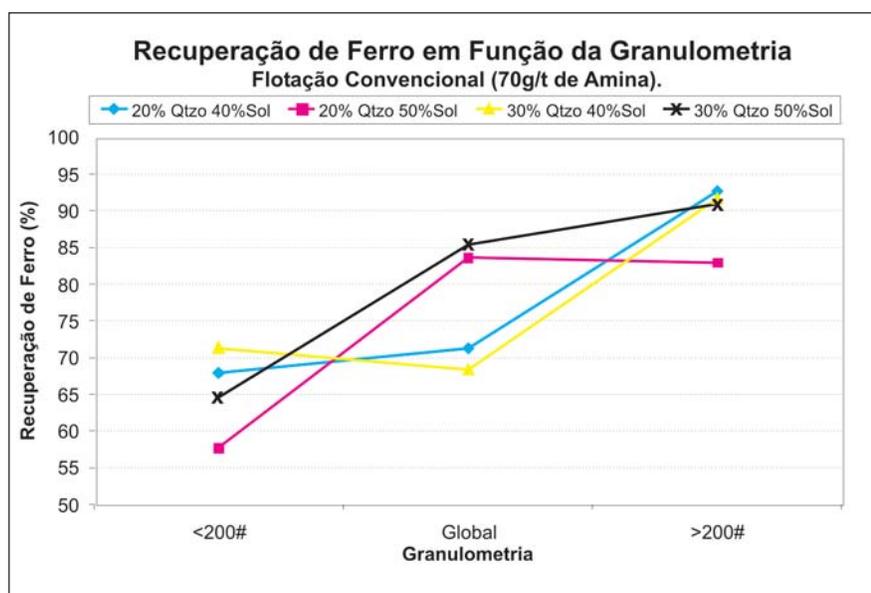


Figura 2 - Gráfico da recuperação de ferro em função da granulometria para os ensaios de flotação convencional com 70g/t de amina.

No gráfico apresentado pela Figura 2, nota-se que as recuperações de ferro apresentaram os maiores valores para os ensaios executados com a granulometria grossieira (>75 $\mu$ m), exceto no caso onde se utilizou 20% de sílica e 50% de sólidos, onde a recuperação da grossieira teve uma leve queda em relação à global. Pode-se dizer que:

- Nos ensaios onde se utilizou uma percentagem de sólidos de 50%, com um teor de sílica contaminante de 20

e 30%, houve uma tendência de aumento até atingir um patamar na granulometria grossieira.

- Nos ensaios onde se utilizou uma percentagem de sólidos de 40%, com um teor de sílica contaminante de 20 e 30%, as recuperações mínimas foram constatadas para a granulometria global.

No gráfico apresentado pela Figura 3, nota-se que o valor das rejeições de sílica nos ensaios em que a granulome-

tria desse mineral utilizado foi menor que 75 $\mu$ m, há uma pequena variação na rejeição de sílica (sendo o menor valor, 88,79% e o maior 92,33%), para todos os casos, significando que, para essa granulometria, a rejeição de sílica será praticamente a mesma, independentemente da variação dos parâmetros estudados. Já para o caso da granulometria maior do que 75 $\mu$ m, a variação das recuperações de sílica é mais pronunciada (menor: 61,64% e maior: 89,25%). E, para o caso da granulometria global, nota-se que a variação não foi tão pronunciada como no segundo caso e nem mesmo pequena, como no primeiro, o que é compreensível, uma vez que, na granulometria global, é composta por partículas pertencentes aos dois outros casos.

Há uma tendência de queda na recuperação para os ensaios onde se utilizou uma fração grossieira de sílica contaminante para todos os casos, sendo essa tendência de queda mais acentuada para os casos onde se utilizou uma polpa com 50% de sólidos. Pode-se dizer que, para partículas grossieiras, polpas com 50% de sólidos provocam a obtenção de uma recuperação menor, quando comparadas com as polpas com 40% de sólidos. Provavelmente essa diminuição se deve ao descolamento das partículas hidrofóbicas das bolhas de ar, provocado pela agitação mecânica, o que acarreta uma turbulência no sistema, como discutido por Öteyaka e Soto (1994). Pode-se afirmar, também, que as partículas grossieiras apresentam uma maior probabilidade de se descolarem das bolhas de ar, uma vez que a força centrífuga que age sobre elas é maior, pois elas têm maior massa do que as partículas finas. Assim sendo, essa força centrífuga se sobrepõe à força de atração do coletor entre essas partículas e as bolhas de ar, fazendo com que o agregado partícula/bolha perca a estabilidade, reduzindo, então, a recuperação. Esse comportamento é evidenciado por Nguyen (2003). Esse autor afirma que o diâmetro máximo de partículas flotáveis é dependente da aceleração centrífuga de fluxos turbulentos.

Trabalhos recentes também discutem a dependência do tamanho das partí-

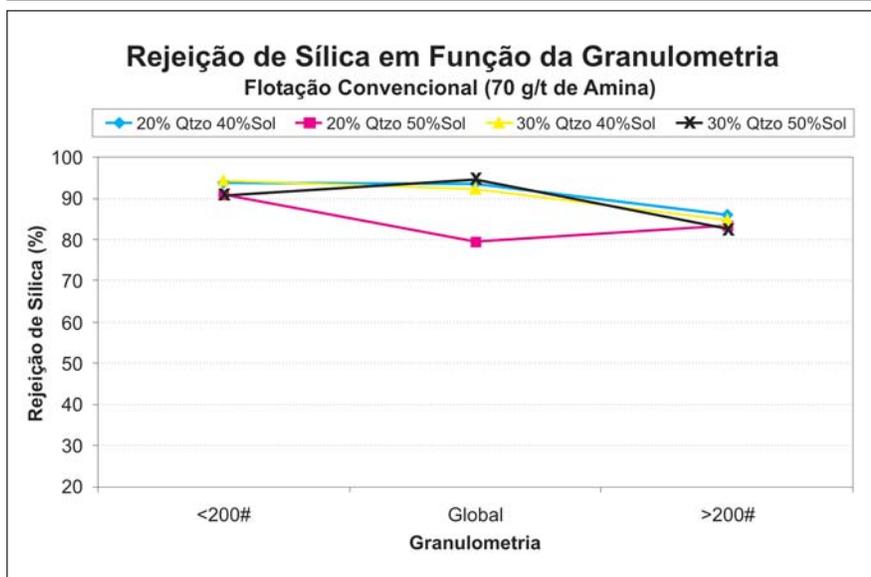


Figura 3 - Gráfico da rejeição de sílica em função da granulometria para os ensaios de flotação convencional com 50g/t de amina.

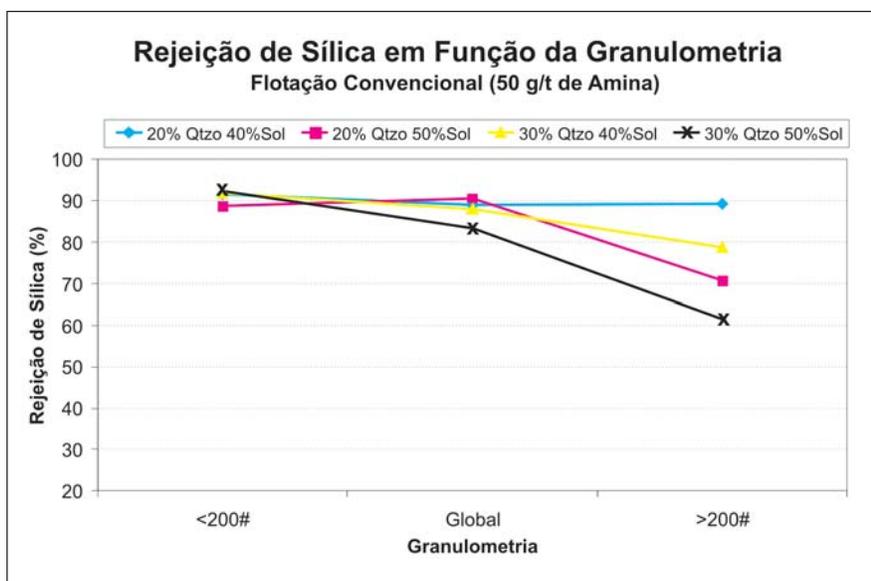


Figura 4 - Gráfico da rejeição de sílica em função granulometria para os ensaios de flotação convencional com 70g/t de amina.

culas na flotação, como em Soto e Barbery (1991), que afirmam que “a probabilidade de adesão das partículas é determinada pela hidrofobicidade da superfície e pelo tempo de indução”. Esse autores também afirmam que “a hidrofobicidade não deve ser afetada apenas pelo tamanho da partícula, mas também pela densidade de adsorção do coletor”. É importante considerar a área superficial que é menor para as partículas maiores do que para as de menor tamanho.

“Para uma dada dosagem, a proporção da superfície coberta pelo coletor deve aumentar com o tamanho da partícula”, devido à diferença de área superficial.

Um outro fator que pode ser notado também é que, na granulometria grossa, para percentagens de sólidos em polpa iguais e percentagens de sílica diferentes, os ensaios nos quais se utilizaram as menores percentagens de sílica apresentaram resultados de rejeição de sílica maiores em comparação aos ensai-

os nos quais se utilizaram as maiores percentagens de sílica. Provavelmente esse fato pode estar relacionado, ainda, ao descolamento das partículas das bolhas, pois, como houve uma maior percentagem de partículas a serem coletadas, a probabilidade de descolamento tende a ser maior, já que, para a mesma quantidade de bolhas (*hold up*), há uma necessidade de uma maior força de atração entre partículas e bolhas para manter a estabilidade do agregado.

Como se trata de uma etapa de desbaste (*rougher*) do minério, o ideal é considerar os casos nos quais as rejeições de sílica são maiores. Pode-se notar que isso ocorre quando se utiliza a sílica em granulometria fina independente dos parâmetros estudados. Como as partículas são mais finas, a probabilidade de desligarem-se das bolhas é menor, quando comparadas às partículas grosseiras, sendo que as forças de atração se sobrepõem às forças de desligamento, proporcionando uma maior rejeição de sílica.

No gráfico representado pela Figura 4, nota-se que há uma tendência de queda na recuperação para os ensaios nos quais se utilizou uma fração grossa de sílica contaminante para todos os casos, exceto nos ensaios nos quais se utilizou uma percentagem de sílica de 20% e uma polpa com 50% de sólidos, quando, então, se obteve um suave acréscimo na recuperação para a granulometria grossa em relação à distribuição global.

## 5. Conclusões

Os resultados de rejeição de sílica são praticamente invariáveis nos ensaios em que a granulometria desse mineral utilizado foi menor do que 75µm, independente dos parâmetros estudados.

A utilização de sílica acima da granulometria de 75µm compromete os resultados do processo de flotação, uma vez que os valores de rejeição de sílica são inferiores aos dos demais ensaios.

Nos ensaios nos quais a percentagem de sólidos em polpa utilizada foi de 40%, os resultados de rejeição de sílica

foram superiores, quando comparados com os ensaios nos quais se utilizou uma percentagem 50% de sólidos em polpa.

## 6. Agradecimentos

À Samarco Mineração S.A., pelo fornecimento do concentrado e análises das amostras dos produtos dos ensaios. À Omega Mineração S.A., pelo fornecimento do quartzito. Aos técnicos do CT<sup>3</sup> da Fundação Gorceix, pelo auxílio. Ao DEMIN - Escola de Minas - UFOP e aos técnicos do Laboratório de Tratamento de Minérios, pelo auxílio e pelo espaço cedido para a realização dos ensaios laboratoriais.

## 7. Referências bibliográficas

- AHMED, N., JAMESON. The effect of bubble size on the Rate of flotation fine particles. *Int. J. of Mineral Processing*, n. 14, p. 195-215, 1985.
- HERNÁNIZ, F., CALERO, M. Froth flotation: kinetic models based on chemical analogy. *Chem. Eng. and Process*, n. 40, p. 269-275, 2001.
- FENG, D., ALDRICH, C. Effect of particle size on flotation performance of complex sulphide ores. *Minerals Engineering*, v.12, n.7, p. 721-731, 1999.
- LI, R., HOBREG, H., SCHNEIDER, F.U. Investigations on the Influence of Particle Size in Flotation. In: INTERNATAIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 18, *Anais...* Sydney. p. 689-697, 1993.

NGUYEN, A.V. New method and equations for determining attachment tenacity and particle size limit in flotation. *Int. J. of Mineral Processing*, n. 68, p. 167-182, 2003.

ÖTEYAKA, B., SOTO, H. Modelling of negative bias column for coarse particles flotation. *Minerals Engineering*, v. 8, n. 1/2, p. 91-100, 1995.

SOTO, H., BARBERY, G. Flotation of coarse particles in a counter-current column cell. *Minerals & Metallurgical Processing*. p. 16-21, February 1991.

Artigo recebido em 20/11/2003 e aprovado em 06/07/2005.

Descubra as muitas informações da:  
**Geologia, Mineração,  
Metalurgia & Materiais  
e Engenharia Civil.**



**Assine e  
publique  
na Rem**

Conheça o nosso novo site: **[www.rem.com.br](http://www.rem.com.br)**