

FLOTABILIDADE DE HEMATITA COM ÁCIDOS GRAXOS¹

Aline Pereira Leite Nunes²
Paulo Roberto de Magalhães Viana³
Andréia Bicalho Henriques⁴

Resumo

A flotabilidade da hematita com ácidos graxos foi avaliada na ausência e na presença de silicato de sódio através de testes de microflotação na faixa de pH alcalina. Os testes foram realizados com amostras puras de hematita compacta em Tubo de Hallimond modificado. Os reagentes utilizados como coletores foram o Hidrocol, *tall oil* e o óleo de arroz. O silicato de sódio foi utilizado como depressor. As soluções dos reagentes coletores foram preparadas na concentração de 10mg/L. Para o silicato de sódio, as concentrações usadas foram de 5×10^{-2} , 5×10^{-3} , 5×10^{-4} e 5×10^{-5} M. A flotabilidade da hematita foi avaliada entre pH 8 e pH 12. Na ausência de silicato de sódio, verificou-se que a flotabilidade da hematita foi de 100% entre pH 9 e pH 10 para os reagentes Hidrocol e óleo de arroz, e 90% entre pH 9 e pH 12 para o reagente *tall oil*. Ao se adicionar silicato de sódio, e usando-se óleo de arroz como coletor, a flotabilidade cai para menos de 20% a partir de pH 9. Observou-se que na concentração de 5×10^{-5} M de silicato de sódio, a flotabilidade da hematita com Hidrocol foi superior a 85% enquanto que com *tall oil*, nesta mesma concentração de silicato de sódio, a flotabilidade da hematita ficou entre 40 e 50% e para o óleo de arroz a flotabilidade foi inferior a 20%. Em concentrações de silicato de 5×10^{-3} M e 5×10^{-2} M a flotabilidade da hematita é menor que 20% para todos os coletores.

Palavras-chave: Hematita; Flotabilidade; Ácidos graxos; Silicato de sódio.

HEMATITE FLOATABILITY WITH FATTY ACIDS

Abstract

The hematite floatability with fatty acids was evaluated in the presence of sodium silicate through microflotation tests over the alkaline pH range. The tests, performed with pure hematite, were carried out in a Hallimond Tube. The reagents used as collectors were Hidrocol, *tall oil* and rice oil. Sodium silicate was used as a depressant. The collectors solutions were prepared at the concentration of 10mg/L. The concentrations used for the sodium silicate were 5×10^{-2} , 5×10^{-3} , 5×10^{-4} and 5×10^{-5} M. The hematite floatability was evaluated between pH 8 and pH 12. In the absence of sodium silicate, the hematite floatability with Hidrocol and rice oil reached 100% between pH 9 and pH 10 and arrived at 90% between pH 9 and pH 12 when using *tall oil*. When sodium silicate was added the hematite floatability decreased to less than 20% in pH values greater than 9. It was observed that in the concentration of 5×10^{-5} M of sodium silicate, the hematite floatability with Hidrocol was over 85% while for the *tall oil*, with the same concentration of sodium silicate, the floatability of hematite varies between 40 and 50% and for the rice oil the floatability attains less than 20%. When using higher concentrations of sodium silicate, 5×10^{-3} M and 5×10^{-2} M, the hematite floatability decreases to less than 20% for all collectors.

Key words: Hematite; Floatability; Fatty acids; Sodium silicate.

¹ Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.

² Professora Substituta do Depto. de Engenharia de Minas - UFMG .

³ Professor Adjunto do Depto. de Engenharia de Minas - UFMG.

⁴ Engenheira de Minas do Depto. de Engenharia Metalúrgica - UFMG.

1 INTRODUÇÃO

A flotação de minérios de ferro contendo o quartzo como o principal mineral de ganga pode ser realizada basicamente por três rotas:

- flotação aniônica direta de óxidos de ferro em pH neutro feita em geral com o emprego de ácidos graxos;
- flotação aniônica reversa de quartzo ativado com íons cálcio em pH alcalino com o emprego de ácidos graxos e depressores; E
- flotação catiônica reversa em pH alcalino com emprego de aminas e com uso de depressores para os óxidos de ferro, especialmente amidos.

Das três rotas descritas acima a flotação catiônica reversa é a única atualmente usada em aplicações industriais. Em outras aplicações a técnica de flotação reversa (flotação dos minerais de ganga) é aplicada para a remoção de fosfatos e sulfetos. O grande emprego da flotação reversa de quartzo em pH alcalino se deve ao fato da alta seletividade obtida na flotação, o emprego de somente dois reagentes e maior garantia de obtenção das especificações de SiO_2 e Al_2O_3 no concentrado.

A flotação de minérios de ferro pode ser feita também com o uso de coletores aniônicos, como os ácidos graxos e seus sabões. Usando-se o oleato de sódio, por exemplo, a hematita pode ser flotada diretamente em pH próximo de 7, ou a ganga pode ser flotada com a ativação do quartzo em pH alcalino. A Figura 1 mostra a alta flotabilidade (>95%) da hematita com oleato de sódio em pH 7.

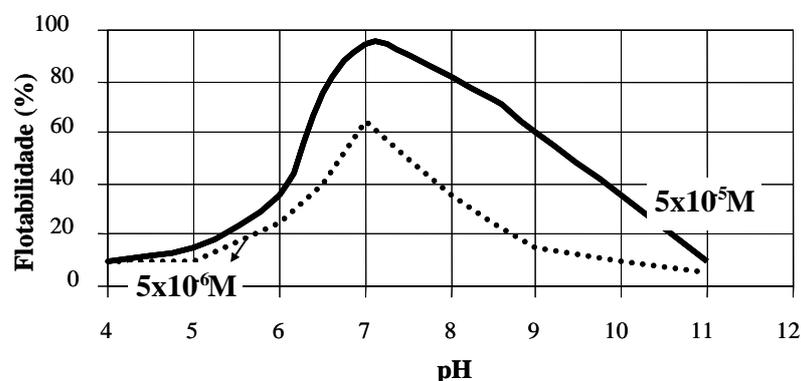


Figura 1: Flotabilidade da hematita com oleato de sódio.⁽¹⁾

A flotação direta dos óxidos de ferro parece bastante atrativa no caso de minérios de baixo teor, minérios marginais que seriam flotados para reduzir a relação estéril/minério, e também na recuperação de material estocado em bacias de rejeitos. Porém, um dos maiores problemas na aplicação dessa rota é a baixa seletividade devida à precipitação indiscriminada de espécies coletoras por íons em solução sobre todas as superfícies, mesmo na presença de depressores (normalmente da família dos silicatos). Outro problema é o elevado consumo específico ou alto custo de reagentes.

Os depósitos de minério de ferro têm apresentado composições mineralógicas mais complexas e o quartzo praticamente já não aparece sozinho como principal mineral de ganga. Minerais portadores de fósforo, alumínio, outros silicatos como os anfibólios e também sulfetos estão se tornando comuns nos depósitos e a rota de flotação catiônica reversa convencional não tem apresentado

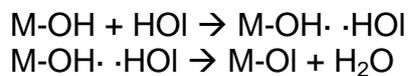
seletividade desejável na maioria desses casos. O uso de reagentes coletores de fosfatos como os ácidos graxos na flotação reversa mostra um bom potencial na redução do teor de fósforo dos minérios de ferro.⁽²⁾

Os ácidos graxos são os reagentes mais utilizados na flotação de minerais levemente solúveis. Em solução aquosa eles sofrem dissociação de acordo com a equação a seguir:



A espécie aquosa ($\text{R-COOH}_{(\text{aq})}$) é a forma molecular e a outra espécie (R-COO^-) é a espécie iônica. A predominância da forma molecular ou iônica é função do pH da solução. Em faixa de pH ácido, a predominância é da espécie molecular, enquanto que em pH alcalino a espécie iônica é dominante.

As reações da hematita com ácido oléico podem ser expressas pelas seguintes equações:⁽³⁾



Onde M-OH é a superfície mineral com água adsorvida quimicamente, HOI é o ácido oléico e M-OI é a superfície mineral com o coletor adsorvido também quimicamente. A reação entre a superfície da hematita e o ácido oléico é caracterizada pela expulsão de hidroxilas da superfície do mineral.

A flotabilidade da hematita com ácidos graxos em sistemas contendo fosfatos deve ser impedida para que apenas os fosfatos sejam flotados, permitindo então que haja seletividade no processo de flotação. A adsorção dos ácidos graxos na superfície da hematita pode ser evitada usando-se um depressor efetivo para óxidos de ferro como o silicato de sódio, que pode ser empregado na redução do teor de fósforo de minérios de ferro ao se flotar os fosfatos.

O efeito positivo do silicato de sódio foi confirmado através da diminuição do teor de fósforo do concentrado magnetítico de Kiruna, na Suécia.⁽⁴⁾ Neste estudo foi avaliado o efeito da temperatura na cinética de flotação da apatita a partir de finos de magnetita, usando-se um ácido graxo (Atrac 1562) como coletor e silicato de sódio como dispersante.

O mecanismo de depressão seletiva do silicato de sódio ainda não é bem definido. Estima-se que essa seletividade esteja ligada ao processo de hidrólise do silicato. Em pH elevado, o silicato de sódio é um depressor mais efetivo, o que pode estar associado à polimerização deste.

No presente trabalho foram realizados testes de microflotação de hematita com ácidos graxos na ausência e na presença de silicato de sódio com o objetivo de se avaliar o efeito desses reagentes e determinar se seria possível a flotação de fosfatos presentes em minérios de ferro com alto teor em fósforo. Alguns testes preliminares de flotação em bancada foram realizados para verificação da aplicabilidade dos resultados obtidos na microflotação.

2 METODOLOGIA

Os testes de microflotação foram realizados com amostra pura de hematita compacta em Tubo de Hallimond modificado. A amostra pura de hematita foi moída até uma granulometria abaixo de 300 μm . Os reagentes usados nos testes de

microflotação são apresentados na Tabela 1. Todos os reagentes, com exceção do silicato de sódio, foram preparados em solução nas concentrações de 10 mg/L. Para o silicato de sódio, as concentrações utilizadas foram de 5×10^{-2} M, 5×10^{-3} M, 5×10^{-4} M e 5×10^{-5} M. As soluções dos coletores foram obtidas através da saponificação dos reagentes com a adição de solução de NaOH 5%p/v até a obtenção de uma solução homogênea e sem a presença de grumos.

Tabela 1: Reagentes usados nos testes de microflotação

Nome comercial	Fabricante	Designação	Fórmula estrutural aproximada	Peso Molecular (g/mol)	Tempo de Cond. (min)
FA01	Akzo Nobel	tall oil	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{COOH}$	277,03	5
Óleo de Arroz	Irgovel	óleo de arroz	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{COOH}$	271,35	5
Hidrocol	Hidroveg	ácido graxo parcialmente hidrogenado	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{COOH}$	268,96	5
Silicato de Sódio	Clariant	silicato de sódio	Na_2SiO_3	122,06	5

Com base na literatura, definiram-se algumas variáveis a serem usadas na realização dos testes de flotabilidade, como a faixa de pH a ser estudada entre pH 8 e pH 12. Alguns testes preliminares foram realizados para definição das melhores condições de realização dos testes. A vazão de ar para a formação das bolhas foi estabelecida em $100 \text{ cm}^3/\text{min}$ e o tempo de condicionamento dos reagentes foi de 5 minutos. Em termos de tamanho das partículas minerais a amostra foi bitolada entre $75 \mu\text{m}$ e $300 \mu\text{m}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o gráfico da Figura 2, verifica-se que a flotabilidade da hematita é 100% entre pH 9 e pH 10 para os reagentes Hidrocol e óleo de arroz. A flotabilidade da hematita com o Hidrocol permanece superior a 90% até pH 11,5, caindo para 82% em pH 12. A flotabilidade da hematita é superior a 90% de pH 9 a pH 12 com o reagente *tall oil*.

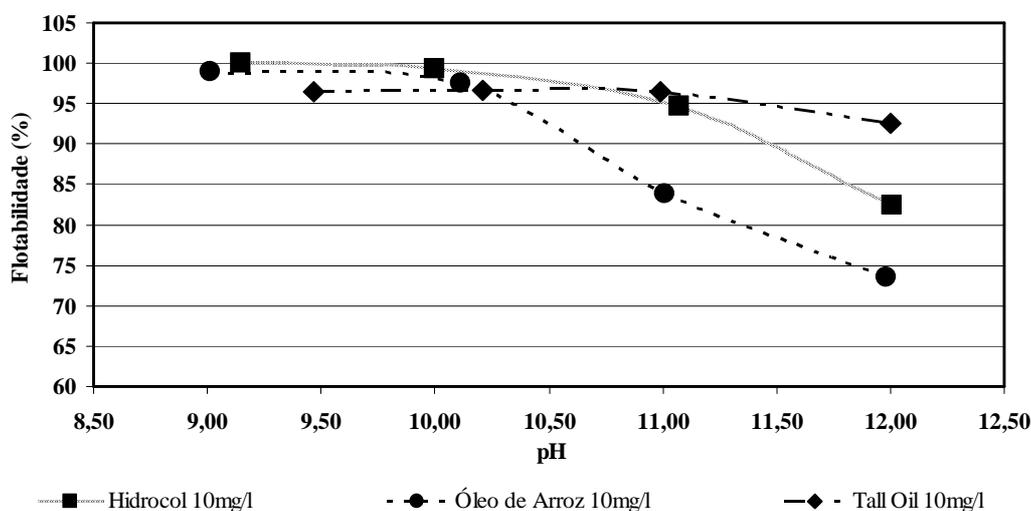


Figura 2: Microflotação da hematita em pH alcalino.

Todos os reagentes usados são aniônicos e o mecanismo de interação desses reagentes e a superfície da hematita é uma quimissorção.

Os gráficos mostrados a seguir são referentes aos testes realizados com silicato de sódio e com os coletores apresentados anteriormente. De acordo com o gráfico da Figura 3, a flotabilidade da hematita com silicato e Hidrocol é de aproximadamente 20% em pH 9 e aumenta significativamente a partir de pH 11, chegando a 70% em pH 12. Com o óleo de arroz, na presença de silicato de sódio, a flotabilidade máxima atingida para a hematita foi menor que 25% em pH 9 e esta flotabilidade cai para uma faixa entre 10% e 15% em valores de pH acima de 9. Para o *tall oil*, também com o uso do silicato de sódio, a hematita é também deprimida apresentando flotabilidade inferior a 25% em toda a faixa de pH estudada.

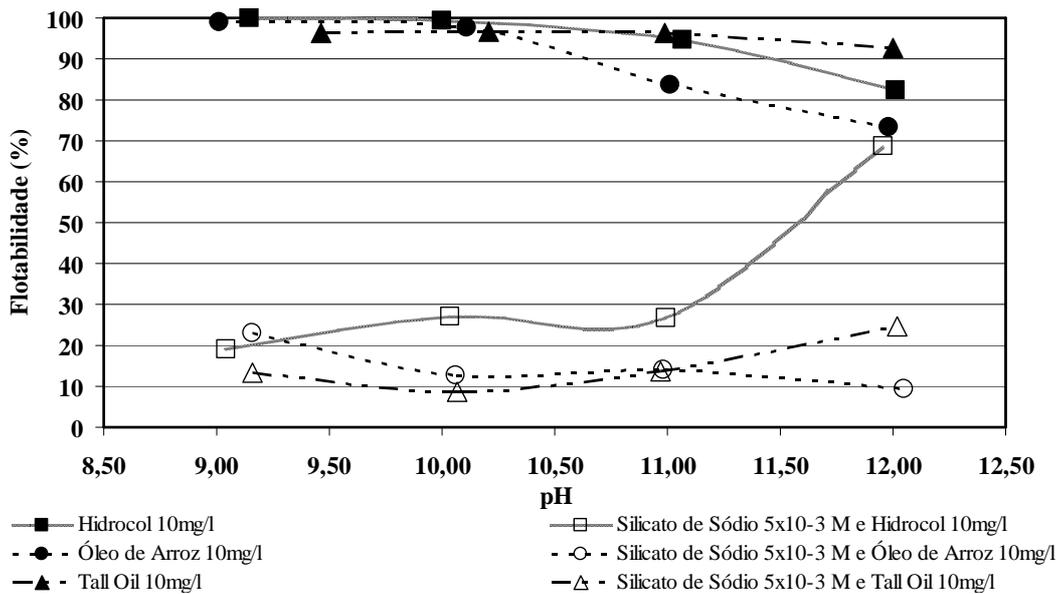


Figura 3: Microflotação da hematita na ausência e na presença de silicato de sódio.

O efeito depressor do silicato de sódio na hematita ficou nítido com os resultados obtidos confirmando os dados da literatura. Foi estudado então o efeito da variação da concentração do silicato de sódio na flotabilidade da hematita, em pH 10, com os mesmos coletores sob investigação.

De acordo com o gráfico da Figura 4, observa-se que na concentração de $5 \times 10^{-5} \text{ M}$ de silicato de sódio, a flotabilidade da hematita com Hidrocol foi superior a 85%. Para o *tall oil* nessa mesma concentração de silicato, a flotabilidade da hematita ficou entre 40 e 50% e para o óleo de arroz, a flotabilidade foi inferior a 20%. Para a concentração de $5 \times 10^{-4} \text{ M}$ a flotabilidade da hematita com o Hidrocol cai acentuadamente para menos de 60%. Para as concentrações acima de $5 \times 10^{-3} \text{ M}$ a flotabilidade da hematita é inferior a 20% para todos os coletores.

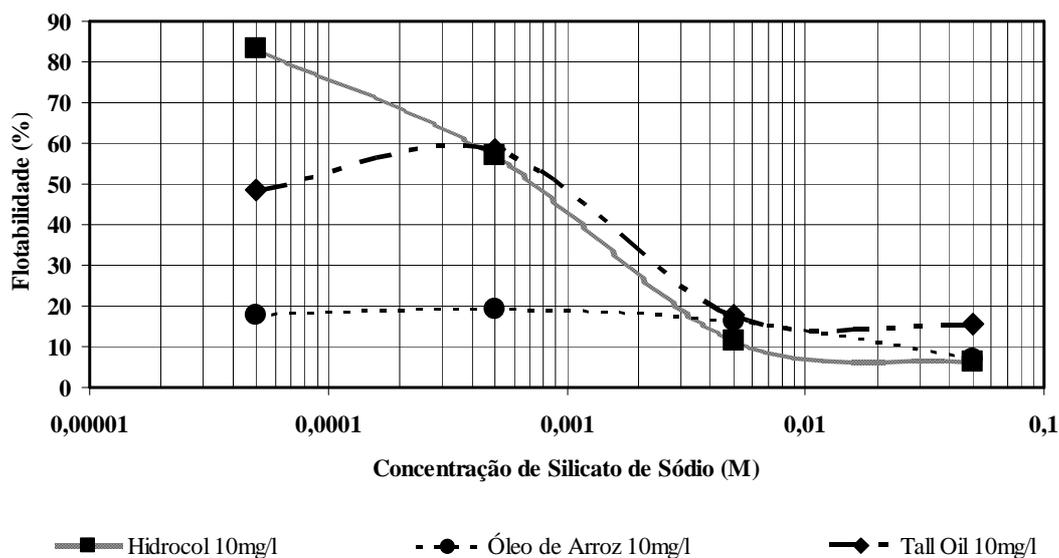


Figura 4: Microflotação da hematita variando-se a concentração de silicato de sódio.

4 CONCLUSÕES

O efeito depressor do silicato de sódio sobre a hematita foi constatado através dos testes realizados. Na ausência de silicato de sódio, verificou-se que a flotabilidade da hematita foi elevada para todos os coletores até um valor de pH aproximadamente igual a 10. Acima deste pH a flotabilidade da hematita cai para todos os coletores mas de forma mais significativa para o óleo de arroz.

Ao se adicionar silicato de sódio, a hematita é fortemente deprimida até pH 11 para todos os coletores. A flotabilidade da hematita com o silicato de sódio e óleo de arroz foi inferior a 25% para todas as concentrações de silicato de sódio avaliadas. Os resultados obtidos indicam que o emprego de qualquer um dos coletores avaliados em conjunto com o silicato de sódio como depressor de hematita, até pH 11, pode ser uma alternativa na remoção de fosfatos presentes em minérios de ferro através da técnica de flotação reversa. Ressalta-se que os estudos deverão ser seqüenciados para que sejam avaliadas as flotabilidades de fosfatos nessas mesmas condições para verificar a existência de seletividade no processo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPEMIG, CNPq e CAPES pelo suporte. Agradecemos também à VALE pelo fornecimento da amostra. Os autores também desejam salientar e agradecer o apoio do Prof. Armando Corrêa de Araújo ao longo do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

1. QUAST, K. Flotation of hematite using C6–C18 saturated fatty acids. *Minerals Engineering*, v.19, Issues 6-8, p.582-597, May-July 2006.
2. NUNES, A.P.L. Flotação de Fosfatos Presentes em Minérios de Ferro Brasileiros. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 184p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), 2009.

- 3 PECK, A. S.; RABY, L. H., WADSWORTH, M. E. An Infrared Study of the Flotation of Hematite with Oleic Acid and Sodium. Transactions SME/AIME, New York, v. 235, p. 301-306, 1966.
- 4 SU, F.; RAO, K. H.; FOSSBERG, K. S. E; SAMSKOG, P. O. The Influence of Temperature on the Kinetics of Apatite Flotation from Magnetite Fines. International Journal of Mineral Processing, v.54, p.131-145, 1998.