



Rem: Revista Escola de Minas

ISSN: 0370-4467

editor@rem.com.br

Escola de Minas

Brasil

Santos Oliveira, Michelly dos; Peres, Antônio Eduardo Clark
Flotabilidade da apatita e minerais de ganga provenientes de minério sílico-carbonatado com oleato
de sódio

Rem: Revista Escola de Minas, vol. 63, núm. 3, julio-septiembre, 2010, pp. 551-557

Escola de Minas

Ouro Preto, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56416593019>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Mineração

Flotabilidade da apatita e minerais de ganga provenientes de minério sílico-carbonatado com oleato de sódio

Floatability of apatite and gangue minerals from silicate-carbonate ores with sodium oleate

Resumo

O beneficiamento dos minérios fosfáticos com ganga silicatada e carbonatada é estritamente necessário para aumentar a produção de concentrados fosfáticos e para suprir a demanda nacional de fertilizantes. Visando a processar esses minérios, esse trabalho estudou, através de testes de microflotação e medidas de potencial zeta, o efeito do oleato de sódio, do amido de milho e da carboximetilcelulose (CMC) na superfície dos minerais puros originários do minério sílico-carbonatado de Catalão/GO. Os resultados obtidos mostraram a possibilidade de separação seletiva da apatita, por flotação direta em pH igual a 9, usando-se oleato de sódio como coletor, na ausência de depressores, o que seria inviável industrialmente. Tanto a CMC como o amido de milho deprimem a dolomita, mas não são seletivos, pois deprimem, também, a apatita. O amido apresenta ação depressora sobre a apatita mais forte que a CMC.

Palavras-chave: Flotação de fosfato, oleato de sódio, minério sílico-carbonatado.

Abstract

The processing of phosphate ores containing silicates and carbonates in the gangue is strictly necessary to increase phosphate rock production to meet the Brazilian demand for fertilizers. Aiming at the processing of these ores, this investigation addressed, via microflotation and zeta potential determinations, the effect of sodium oleate, corn starch and carboxymethylcellulose (CMC) on the surfaces of pure minerals from the Catalão/GO silicate-carbonate deposit. The results suggested the possibility of selective apatite concentration via direct flotation at pH = 9, using sodium oleate as collector, in the absence of depressants; a route that would be industrially unfeasible. Both, CMC and starch, act as dolomite depressants, but the action is not selective, for apatite is also depressed by these reagents. Starch is a stronger apatite depressant than CMC.

Keywords: Phosphate flotation, sodium oleate, silicate-carbonate ores.

Michelly dos Santos Oliveira

Dr., Professora do Curso de
Mineração do CEFET/MG
Campus Araxá

E-mail: michelly@araxa.cefetmg.br

Antônio Eduardo Clark
Peres

Ph.D., Professor Associado do
Departamento de Engenharia
Metalúrgica e de Materiais da UFMG
E-mail: aecperes@demet.ufmg.br

1. Introdução

As rotas de processo mais adequadas para se concentrar um determinado minério fosfático dependem da origem do mesmo (sedimentar ou ígnea), assim como da natureza dos minerais de ganga (silicatos, carbonatos ou óxidos), que precisam de ser separados da apatita. No caso de minérios fosfáticos ígneos, a separação apatita/silicatos é, normalmente, realizada mediante o uso da flotação aniônica direta na faixa alcalina de pH, utilizando ácidos graxos como coletores. O beneficiamento de minérios fosfáticos com ganga carbonatada e silicatada é um problema mundial (Peng & Gu, 2005; Hanumantha Rao et al., 1989), devido, principalmente, às semelhanças nas características de superfície dos fosfatos e carbonatos (minerais levemente solúveis). No entanto, o minério sílico-carbonatado representa cerca de 50% de alguns dos principais depósitos fosfáticos brasileiros, Catalão/GO e Barreiro/MG.

O oleato, um sabão de ácido oléico (*cis*-9 octadecenóico, molécula com 18 átomos de C e uma dupla ligação), é um dos reagentes mais utilizados para flotação de apatita e carbonatos (Hanumantha Rao & Forssberg, 1991; Guimarães et al., 2005). Os óleos vegetais, utilizados na flotação brasileira de fosfato, têm o ácido oléico como um dos seus principais constituintes. A flotação é feita em pH alcalino (9-12).

Para se obter seletividade na flotação dos minerais levemente solúveis, o uso de agentes modificadores é es-

sencial. O amido é, tradicionalmente, utilizado no Brasil como depressor de ganga composta por carbonatos e minerais de ferro (Barros et al., 2001; Leal Filho, 1999; Guimarães et al., 2005). A carboximetilcelulose (CMC) apresentou grande potencial de atuar, seletivamente, na depressão de dolomita, segundo Zheng e Smith (1997), pois seus vários grupos carboxilato ligam-se, fortemente, aos sítios ativos do metal na superfície mineral, impedindo, desse modo, a adsorção do coletor. A incapacidade da CMC para deprimir a apatita foi justificada pela falta de grupos de carbonato na superfície do mineral.

Objetivando o melhor aproveitamento das reservas brasileiras de fosfato, foi desenvolvido, nesse trabalho, um estudo fundamental de flotação com minerais puros, calcita, apatita, dolomita e vermiculita, obtidos a partir de minério sílico-carbonatado.

2. Materiais e métodos

As amostras minerais são provenientes da mina de fosfato do Complexo Alcalino Carbonatítico de Catalão - GO, de propriedade da Fosfertil - Fertilizantes Fosfatados S.A. A mineralogia das amostras dos minerais, obtida por fluorescência e difração de raios X, está descrita na Tabela 1. A calcita carbonatito e a dolomita carbonatito são resultantes da amostra de rochas de carbonatito. As apatitas, a dolomita foscorito e a calcita foscorito são provenientes das amostras de rochas de foscorito e a vermiculita foi obtida a partir do flogopítito.

A diferença entre as amostras de apatita e apatitaC₁ é a data de coleta.

Os testes de microflotação foram realizados em tubo de Hallimond modificado de 180 cm³ de volume, em temperatura ambiente de 22°C ± 2°C, utilizando 0,8 g de mineral com granulometria -300 + 75 mm e vazão de nitrogênio igual a 30 cm³/min. O tempo de flotação foi de 1 min.

A determinação da carga elétrica de superfície dos minerais puros foi realizada através de medidas de potencial zeta, feitas usando um medidor modelo ZM3-D-G, Zeta Meter system 3.0+.

O oleato de sódio foi adquirido junto à Sigma-Aldrich Brasil Ltda (pureza > 99%) e os depressores foram amido de milho convencional não modificado (Amilogil 2100[®]), fabricado pela Cargill, e carboximetilcelulose (Depramin 267[®]), fornecido pela Akzo Nobel.

O tempo de condicionamento estabelecido em testes preliminares foi de 7 min para o coletor oleato de sódio e 5 min para os depressores (Oliveira, 2007). O condicionamento com coletor e depressor foi realizado externamente ao tubo de Hallimond.

3. Resultados e discussão

A flotabilidade da apatita com oleato (Figura 1) apresenta um mínimo em pH 10, crescendo para valores inferiores e superiores, para as duas concentrações de oleato de sódio testadas, 4x10⁻⁵ M e

Tabela 1 - Mineralogia das amostras.

	Apatita	ApatitaC ₁	Calcita _{car}	Calcita _{fos}	Dolomita _{car}	Dolomita _{fos}	Vermiculita
Fluorapatita	92	90	8	4	2	5	-
Calcita	2	7	90	87	3	6	-
Dolomita	5	3	2	8	95	89	-
Vermiculita	-	-	-	-	-	-	100
Quartzo	1	-	-	2	1	-	-

5×10^{-5} M. O máximo valor de flotabilidade da apatita ocorre em pH=8, os resultados concordam com os obtidos por Pugh e Stenius (1985), Mishra (1982) e Hanumantha Rao et al. (1989). Esse comportamento foi atribuído à formação de hemimicelas pela coadsorção de espécies moleculares e iônicas da solução, uma vez que, nesse pH, o complexo sabão-ácido (RCOO_2H) está presente. De acordo com a Figura 2, em meio neutro e alcalino, a superfície da apatita está carregada negativamente e os valores do pH do ponto isoelétrico (PIE) da apatita e apatita C₁ são 4,5 e 3,5, respectivamente. Como a adsorção do oleato é feita com a carga de superfície da apatita negativa, semelhante à carga do reagente, o mecanismo de adsorção é a quimissorção. O oleato liga-se aos sítios Ca da superfície mineral formando oleato de cálcio. Quando ocorre coadsorção de espécies neutras (sabão-ácido), entre as espécies iônicas, a repulsão eletrostática entre os grupos polares é reduzida e formam-se agregados bidimensionais altamente hidrofóbicos, as hemimicelas.

O aumento da flotabilidade em pH 11 foi observado para apatitas provenientes de Itataia, Irecê, Tapira, Catalão, Salitre, Araxá (Rodrigues, 1992; Barros, 2005; Guimarães, 1997). Esse mecanismo ainda não foi explicado com clareza por nenhum pesquisador, mas acredita-se que a subida da flotabilidade em pH 11 pode ser justificada pela formação do hidroxi-complexo de cálcio, CaOH^+ . Os hidroxi-complexos CaOH^+ e MgOH^+ são atraídos pela superfície dos minerais com carga negativa, onde adsorvem-se, especificamente, nos sítios de O^- . Após esse contato, sucedem interações químicas tipo ligações de hidrogênio entre as oxidrillas dos complexos, um processo de polimerização que cobre largos trechos da interface sólido-líquido, formando sítios reativos em relação ao coletor e permitindo um aumento da flotabilidade dos minerais (Brandão, 1986).

As curvas de flotabilidade das dolomitas (Figura 3) mostram elevada recuperação para pH em torno de 10,5, justificada pela formação do hidroxi-

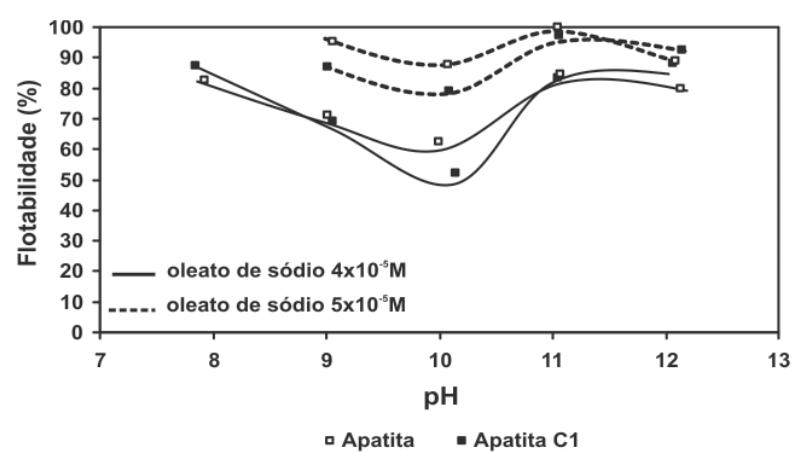


Figura 1 - Microflotação da apatita com oleato de sódio em função do pH da solução.

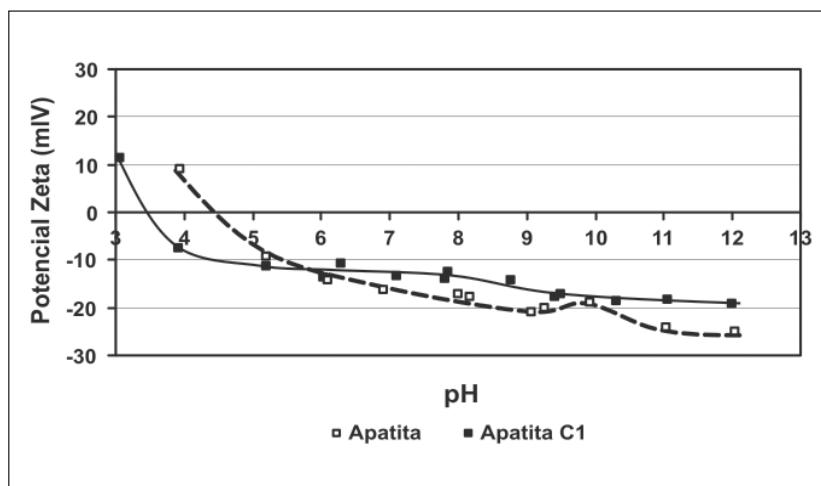


Figura 2 - Potencial zeta das apatitas ($\text{KNO}_3 10^{-3}$ M).

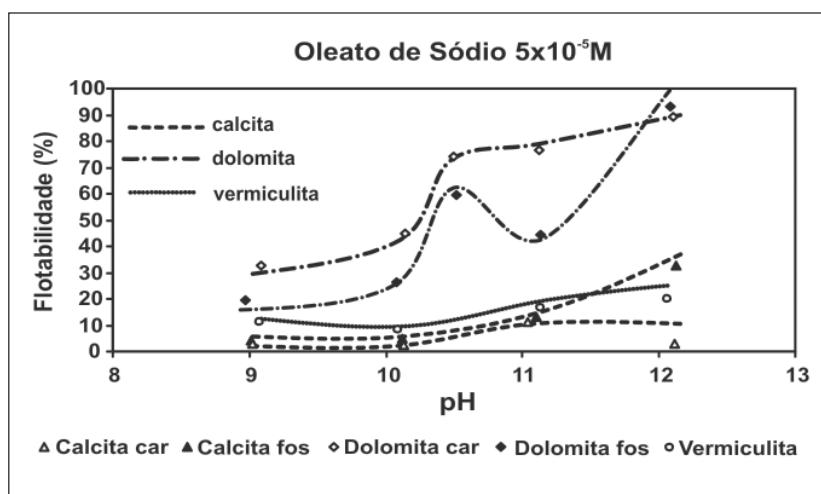


Figura 3 - Microflotação dos minerais de ganga com oleato de Na.

complexo $MgOH^+$, de acordo com o diagrama de concentração do Mg^{2+} (Fuerstenau & Palmer, 1976). A dolomita_{fos} apresenta um mínimo de flotabilidade em pH 11, fato este que não ocorre no caso da dolomita_{car}. Não se conseguiu nenhuma explicação para esse comportamento diversificado. A flotabilidade das calcitas é baixa e crescente com o aumento do pH, provavelmente devido à formação do hidroxi-complexo $CaOH^+$, que se inicia em pH 10 e aumenta até chegar à concentração máxima em pH em torno de 13 (pode variar um pouco dependendo da concentração de íons Ca^{2+}).

A flotabilidade da vermiculita manteve-se próxima de 10% para valores de pH entre 9 e 10, com um pequeno aumento de recuperação em pH 11 e 12. Leal Filho (1999), estudando o quartzo e a apatita de Catalão (Copebrás), observou que a flotação de quartzo com oleato ocorre para pH maior que 10. A adsorção do oleato, na superfície do quartzo, foi possível devido à ativação da superfície pelos hidroxi-complexos $CaOH^+$. A vermiculita, como filossilicato, pode trocar cátions com a solução e a presença de Ca^{2+} e Mg^{2+} em pH 11 e 12 forma os hidroxi-complexos, principalmente de Ca.

Analizando as curvas de potencial zeta dos minerais em água (linha cheia) e na presença do coletor (Figura 4), observa-se que o valor absoluto do potencial zeta aumentou, quando os minerais de cálcio, principalmente apatitas e dolomitas, estavam na presença da solução de coletor. A superfície desses minerais se tornou mais negativa após contato com o oleato. Os resultados obtidos comprovam que o oleato adsorve, por mecanismo químico, na faixa alcalina de pH. Verifica-se que o aumento do valor absoluto do potencial zeta da calcita foi menor que o observado para a apatita e dolomita. Para a concentração (4×10^{-5} M) utilizada nesses ensaios, a flotabilidade da calcita também foi pequena o que pode ser justificado pela pequena, quantidade de coletor que adsorveu na superfície do mineral. O mecanismo de interação do oleato com a calcita e dolomita também é um mecanismo quí-

mico, quando a superfície está carregada negativamente, acima do PIE.

As Figuras 5 e 6 demonstram o efeito da adição dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , respectivamente, no potencial zeta dos minerais estudados nesse trabalho. Os valores de pCa e pMg foram determinados para a condição de pH igual a 10,5 e em presença do eletrólito indiferente KNO_3 (10^{-3} M). A presença dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} em meio alcalino

pode influenciar, significativamente, o comportamento da flotação de minérios fosfáticos. Os hidroxi-complexos $CaOH^+$ e $MgOH^+$ podem adsorver, especificamente, na superfície dos minerais, inclusive da ganga, ativar a adsorção do coletor e aumentar a recuperação da flotação. O controle desses íons na polpa é fundamental.

O aumento da concentração dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} em suspensão (di-

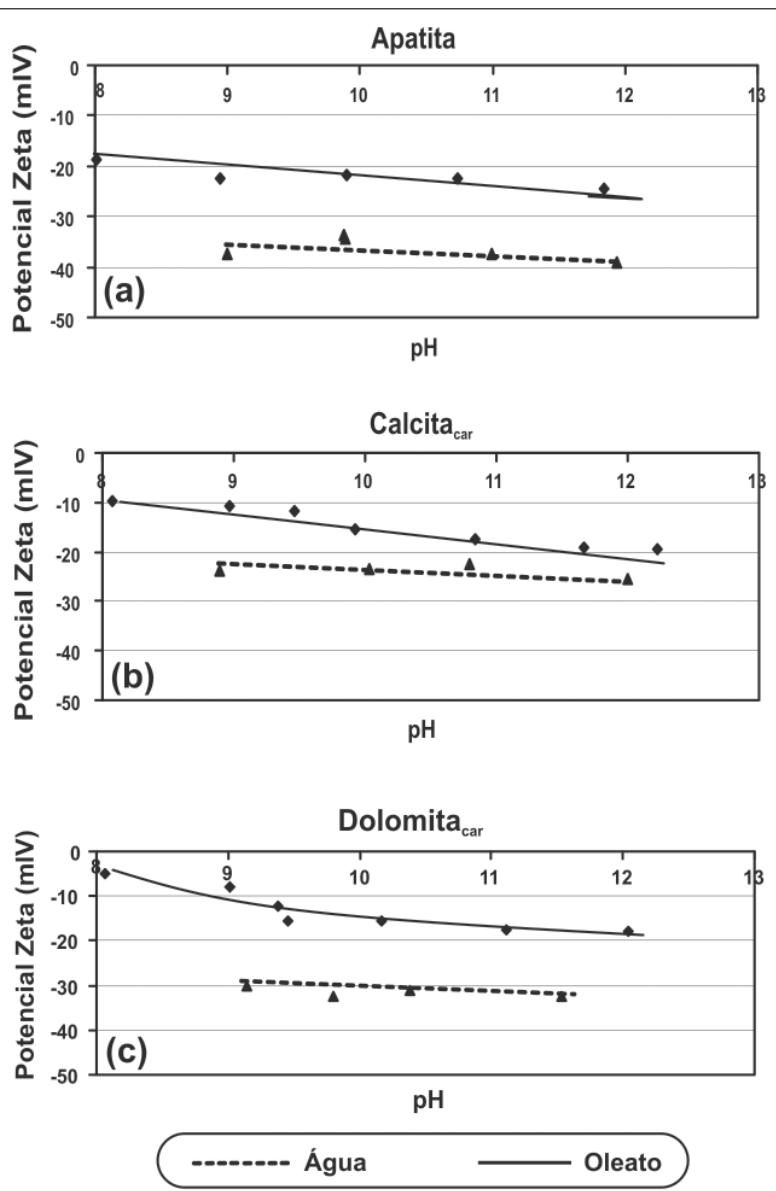


Figura 4 - Potencial zeta da apatita (a), calcita_{car} (b) e dolomita_{car} (c) na presença de água (linha cheia) e oleato de sódio (4×10^{-5} M) (linha pontilhada).

minuição do pCa e pMg) causou uma redução nos valores do potencial zeta dos minerais, ocorrendo, ainda, uma reversão do potencial de negativo para positivo. Esse fenômeno também ocorre nas apatitas provenientes de Salitre-MG (Barros, 2005). Como mencionado anteriormente, o pH das suspensões foi mantido em 10,5. A redução, em termos de valores absolutos, e a reversão no potencial zeta deveram-se à adsorção específica das espécies Ca^{2+} , CaOH^+ e Mg^{2+} , MgOH^+ na superfície dos minerais, justificando o aumento da flotabilidade, mostrado na Figura 3, para esse pH, pois a presença de carga positiva na interface dolomita/solução estaria favorecendo a interação oleato/dolomita.

De acordo com os resultados das Figuras 1 e 3, o pH 9 foi o mais seletivo, uma vez que, nesse pH, observou-se a maior diferença de recuperação entre a apatita e os minerais de ganga. A Figura 7 mostra, para esse pH, os resultados dos testes de microflotação dos minerais em função da concentração de oleato de sódio. A curva aponta o aumento da quantidade de coletor requerida para flotar os minerais na seguinte ordem: apatita < dolomita < calcita < vermiculita, com um aumento da concentração de oleato de $1 \times 10^{-5} \text{ M}$ até $4 \times 10^{-4} \text{ M}$.

A concentração que iniciou a flotação da calcita_{car} foi $1 \times 10^{-4} \text{ M}$ e a maior flotabilidade foi alcançada em uma concentração de $4 \times 10^{-4} \text{ M}$. Uma flotabilidade de 90% de apatita requer uma concentração de oleato de sódio de cerca de $5 \times 10^{-5} \text{ M}$, menor que para calcita, $3 \times 10^{-4} \text{ M}$ para calcita_{car} e $2 \times 10^{-4} \text{ M}$ para calcita_{fos}, para a mesma recuperação na flotação. Pugh e Stenius (1985) encontraram resultados semelhantes a estes. As curvas de isotermas de adsorção para oleato na calcita e apatita obtidas por Antti e Forssberg (1989) indicam que a densidade de adsorção correspondente à formação da monocamada superficial completa é menor para apatita que para calcita, 5 e 6,5 μmoles/m², respectivamente. Isotermas de adsorção obtidas por Lu et al. (1998) e Miller (2003) mostraram a mesma tendência, só que com valores

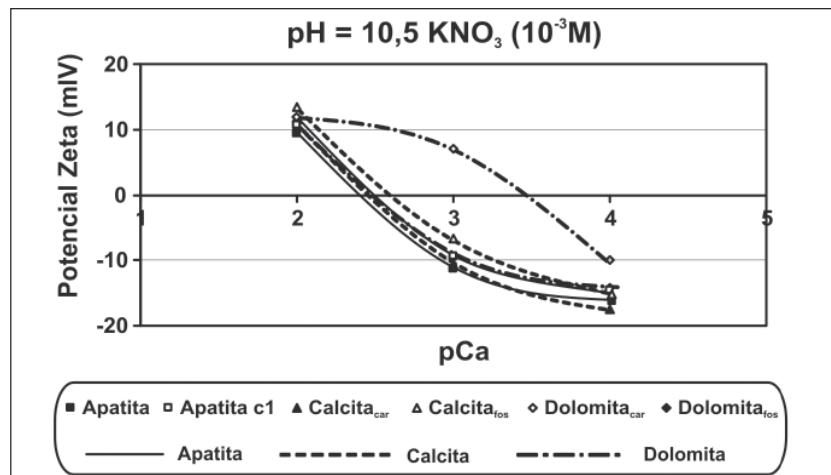


Figura 5 - Potencial zeta dos minerais em função da concentração de Ca^{2+} .

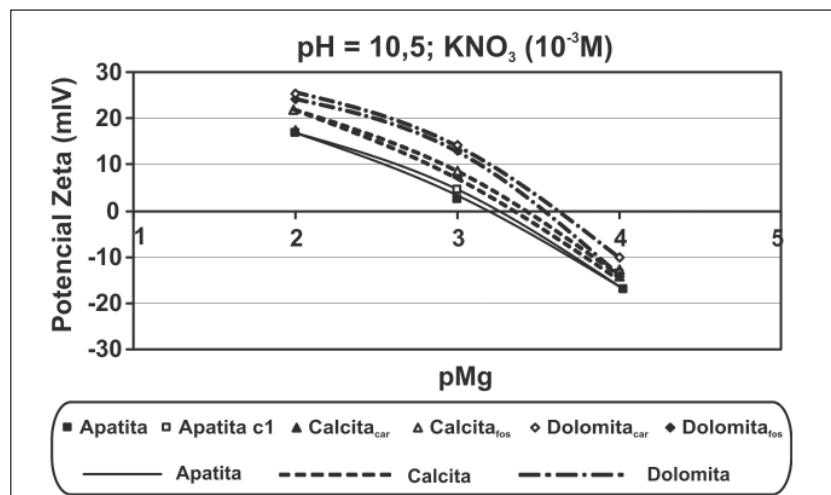


Figura 6 - Potencial zeta dos minerais em função da concentração de Mg^{2+} .

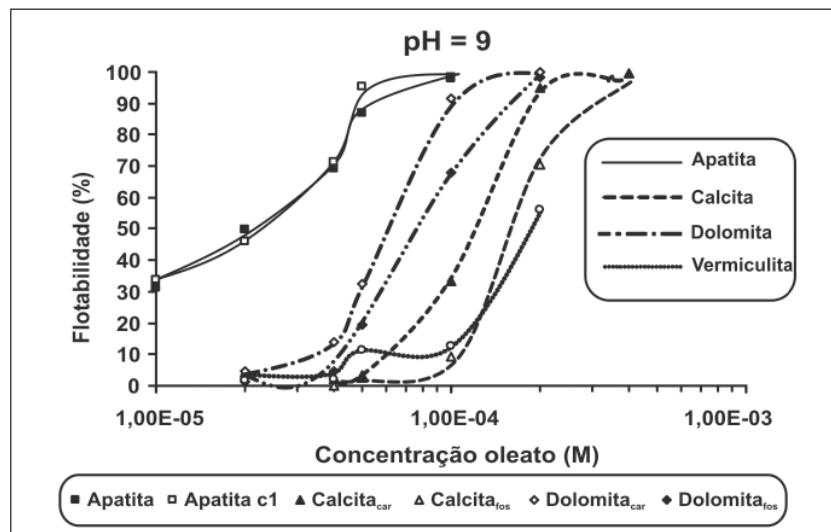


Figura 7 - Microflotação em pH 9 variando a concentração de oleato de Na.

Flotabilidade da apatita e minerais de ganga provenientes de minério sílico-carbonatado com oleato de sódio

de densidade de adsorção muitíssimo mais altos para calcita ($300 \mu\text{moles/m}^2$) que para apatita ($11 \mu\text{moles/m}^2$). Como o processo de adsorção é influenciado pela composição e estrutura da superfície do mineral, essa diferença pode ser atribuída à densidade de sítios de cálcio ativos na superfície e à solubilidade dos minerais calcita e apatita.

A curva descrita na Figura 7, para dolomita_{car}, mostra que a flotabilidade se inicia em uma concentração de coletor de 4×10^{-5} M e chega a 92% para concentração de 1×10^{-4} M. A concentração que inicia a flotação da dolomita_{fos} é cerca de $4,5 \times 10^{-4}$ M e o máximo de 98% de recuperação é obtido quando adicionado 2×10^{-4} mol/L de coletor. Quando comparados os resultados de flotabilidade da dolomita com aqueles descritos por Ananthapadmanabhan e Somasundaran (1985) com oleato de potássio, nota-se grande concordância de dados.

A Figura 7 demonstrou uma boa condição de separação entre a calcita e a apatita numa faixa de concentração de oleato de sódio de 5×10^{-5} M a 7×10^{-5} M. Para a separação da vermiculita, a faixa de concentração do coletor pode ser ainda maior, de 5×10^{-5} M a 1×10^{-4} M. Entretanto a separação entre dolomita e apatita é mais complexa, não tendo sido observada, para as condições avaliadas, uma janela de concentração onde é possível obter um máximo de flotabilidade de apatita contra um mínimo para dolomita. A melhor condição de seletividade entre esses dois minerais em pH 9 foi identificada para concentração de oleato de sódio igual a 5×10^{-5} M.

Para melhorar a seletividade na condição citada anteriormente (pH 9 e concentração de oleato 5×10^{-5} M), utilizaram-se dois depressores, principalmente para dolomita (Figuras 8 e 9). Os testes com adição do amido de milho no sistema podem ser avaliados pelos resultados apresentados na Figura 8. A adição de amido em concentrações finais de 1,5 mg/L reduziu as flotabilidades da dolomita e, também, da apatita consideravelmente. Reduções de 47, 66 e 53% para apatita, apatitaC₁ e dolomita, respectivamente, foram atingidas. A adsorção do amido na superfície

dos minerais é um mecanismo com interações químicas e, provavelmente, as ligações de hidrogênio participam do mecanismo global de adsorção. A interação ocorre entre grupos hidroxila (OH) existentes na estrutura do amido e cátions metálicos hidroxilados (MOH^+) existentes na estrutura cristalina dos minerais. Somasundaran (1969) e Araujo et al. (2006) concluíram que se forma uma ligação química forte entre os sítios Ca na superfície dos minerais e as macromoléculas de amido adsorvidas. No entanto, o mecanismo de adsorção do amido depende da compatibilidade estérica dos grupos hidroxila e grupos MOH dos minerais (M = metal), que

pode ser influenciada pela cristalinidade e substituições isomórficas. Leal Filho (1999) concluiu que a maior ou menor habilidade do amido para deprimir seletivamente calcita, por exemplo, vai variar de depósito para depósito. No caso do minério sílico-carbonatado, a adição de amido reduziu, significativamente, a flotação da apatita, o que pode prejudicar o processo de flotação.

Outro depressor avaliado foi a carboximetilcelulose (CMC). Os resultados são descritos na Figura 9. De forma semelhante aos resultados obtidos para o amido, a CMC também deprimiu a dolomita e a apatita. A redução da flotabilidade em relação à apatita foi

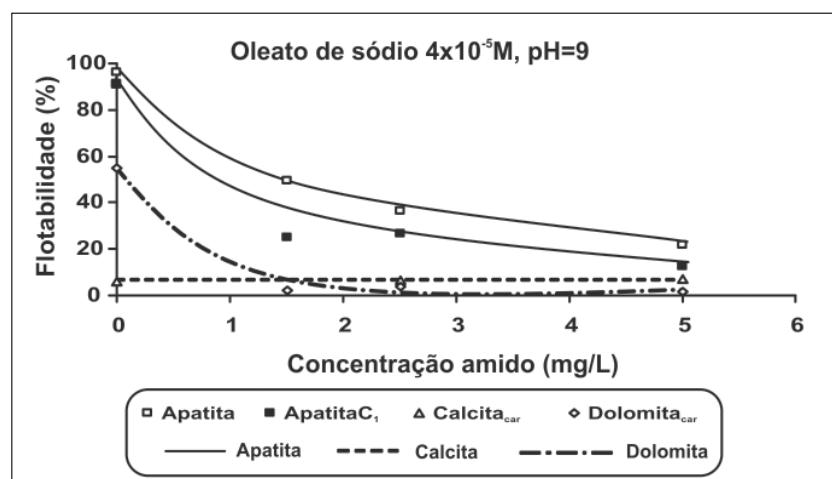


Figura 8 - Microflotação em pH 9 variando a concentração de amido (oleato = 4×10^{-5} M).

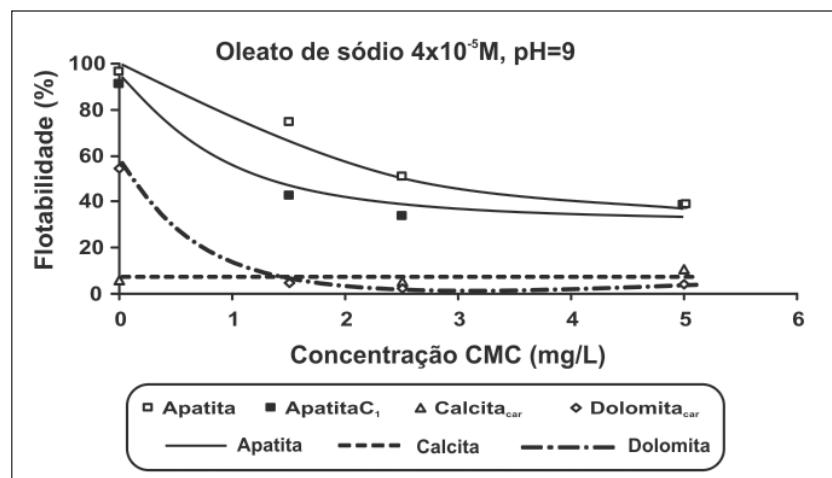


Figura 9 - Microflotação em pH 9 variando a concentração de CMC (oleato = 4×10^{-5} M).

menos acentuada, em torno de 22%. Em contrapartida, para a apatita_{C₁} e para a dolomita, a redução foi de 57 e 52%, respectivamente, para concentração de CMC igual a 1,5 mg/L. Logo, a CMC também não se mostrou depressor seletivo para a flotação desses minerais com oleato de sódio

4. Conclusões

A maior flotabilidade da apatita com oleato na ausência de depressor foi obtida em pH 9 e na faixa de 11 a 12. A calcita e a vermiculita apresentaram maior recuperação em pH 12. Ambas as dolomitas mostraram acentuado aumento de flotabilidade de pH 10 para pH 10,5. A recuperação da dolomita_{car} continuou crescente na faixa de pH de 10,5 a 12. Já a dolomita_{fos} exibiu um mínimo em pH 11. A concentração de oleato de sódio mais favorável para separação da apatita foi igual a 5x10⁻⁵ M (15 mg/L) em pH 9.

Tanto a carboximetilcelulose quanto o amido de milho foram depressores eficientes para a dolomita, mas não se mostraram seletivos, pois deprimiram, também, a apatita, sendo a ação depressora sobre esse mineral mais pronunciada para o amido.

5. Referências bibliográficas

- ANANTHAPADMANABHAN, K. P., SOMASUNDARAN, P. Surface Precipitation of Inorganics and Surfactants and its Role in Adsorption and Flotation. *Colloids and Surfaces*, v. 13, p. 151-167, 1985.
- ANTTI, B. M., FORSSBERG, E. Pulp chemistry in industrial mineral flotation. studies of surface complex on calcite and apatite surfaces using FTIR spectroscopy. *Minerals Engineering*, v. 2, n. 2, p. 217-227, 1989.
- ARAUJO, A. C., GUIMARÃES, R. C., PERES, A. E. C., POLING, G. W. Selective adsorption of starches onto ca-bearing surfaces. In: Beneficiation of Phosphates IV: *Technology and Sustainability*, SME, 2006, cap. 2, p. 15-24.
- BARROS, L.A.F., LEAL FILHO, L.S., PERES, A.E.C. Plant practice innovations in a phosphate concentrator. *Minerals Engineering*, v. 14, p. 117-121, 2001.
- BARROS, L.A.F. *Caracterização tecnológica de minério fosfático de salitre Patrocínio - MG*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2005. 434p. (Tese de Doutorado).
- BRANDÃO, P.R.G. Mecanismos de Flotação de Oxi-Minerais. In: SIMPÓSIO SELECTED TOPICS IN MINERAL PROCESSING, UFMG/UBC, Araxá, 1986. 29p.
- FUERSTENAU, M. C., PALMER, B. R. Anionic flotation of oxides and silicates. In: *Flotation A.M. Gaudin Memorial Volume*. New York: AIME, 1976, v.1, cap. 7. p. 148-196.
- GUIMARÃES, R. C. *Aspectos relevantes da separação de barita em minérios fosfáticos através de flotação*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1997. 249p. (Tese de Doutorado).
- GUIMARÃES, R. C., ARAUJO, A. C., PERES, A. E. C. Reagents in igneous phosphate ores flotation. *Minerals Engineering*, v. 18, p. 199-204, 2005.
- HANUMANTHA RAO, K., BRITT-MARIE, A., FORSSBERG, E. Flotation of phosphatic material containing carbonatic gangue using sodium oleate as collector and sodium silicate as modifier. *International Journal of Mineral Processing*, v. 26, p. 123-140, 1989.
- HANUMANTHA RAO, K., FORSSBERG, K.S.E. Mechanism of fatty acid adsorption in salt-type minerals flotation. *Minerals Engineering*, v. 4, n. 7-11, p. 879-890, 1991.
- LEAL FILHO, L. S. *A seletividade na separação apatita/silicatos por flotação: subsídios para a solução de problemas tipicamente brasileiros*. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1999. 160p. (Tese de Livre-Docência).
- LU, Y., DRELICH, J., MILLER, J. D. Oleate adsorption at an apatite surface studied by ex-situ FTIR internal reflection spectroscopy. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 202, p. 462-476, 1998.
- MILLER, J. D. The flotation chemistry of nonsulfide minerals. In: *Flotation and Flocculation, from Fundamentals to Applications*. Edited by: RALSTON, J., MILLER, J. D., RUBIO, J. Snap Printing, Medindie, Australia, 2003. p. 249-256.
- MISHRA, S. K. Electrokinetic properties and flotation behaviour of apatite and calcite in the presence of sodium oleate and sodium metasilicate. *International Journal of Mineral Processing*, v. 9, p. 59-73, 1982.
- OLIVEIRA, M. S. *Minério fosfático sílico-carbonatado: estudo fundamental*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2007. 207p. (Tese de Doutorado).
- PENG, F. F., GU, Z. Processing florida dolomite phosphate pebble in double reverse fine flotation process. *Minerals and Metallurgical Processing*, v. 22, n. 1, p. 23-30, 2005.
- PUGH, R., STENIUS, P. Solution chemistry studies and flotation behaviour of apatite, calcite and fluorite minerals with sodium oleate collector. *International Journal of Mineral Processing*, v. 15, p. 193-218, 1985.
- RODRIGUES, A. J. *Influência dos aspectos cristalquímicos na flotabilidade das apatitas*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1992. 279p. (Dissertação de Mestrado).
- SOMASUNDARAN, P. Adsorption of starch and oleate and interaction between them on calcite in aqueous solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 31, n. 4, p. 295-307, 1969.
- ZHENG, X., SMITH, R. W. Dolomite depressants in the flotation of apatite and collophane from dolomite. *Minerals Engineering*, v.10, n. 5, p. 537-545, 1997.

Artigo recebido em 06/02/2009 e aprovado em 12/08/2009.