

FLOTAÇÃO DE DIFERENTES TIPOLOGIAS DE MINÉRIOS FOSFÁTICOS DE TAPIRA/MG, USANDO O COLETOR SINTÉTICO KE[®]883

G. C. Guimarães¹, R. M. F. Lima², M. L. M. de Oliveira³

1 - Mestre Professor do CEFET-OP

E-mail: gilbertocaixeta@uol.com.br

2 - Dr^ª. Prof^ª. do PPGEM/UFOP

E-mail: rosa@demim.ufop.br

3 - Dr^ª. Prof^ª do DEMIN/UFOP

E-mail: luciamo@uai.com.br

RESUMO

A flotação é o método de concentração utilizado para concentrar as rochas fosfáticas brasileiras, que são de mineralogia extremamente complexa, necessitando de estudos de caracterização tecnológica das diversas tipologias para prever o comportamento das mesmas frente ao processo industrial. Devido à similaridade das propriedades superficiais da apatita e carbonatos, especialmente a calcita, torna-se extremamente difícil a obtenção de concentrados com relação CaO/P₂O₅ dentro das especificações para a fabricação de fertilizantes. Por esta razão, utiliza-se o sulfossuccinato como coletor, pois o mesmo é mais seletivo em relação à apatita e calcita do que os ácidos graxos. Neste trabalho foram feitos ensaios de flotação em escala de bancada com quatro diferentes tipologias de minérios fosfáticos da mina de Tapira - MG: piroxenito silicificado semi-compacto, piroxenito silicificado compacto, silixito e piroxenito serpentizado, cujas relações CaO/P₂O₅ eram de 2,1; 3,5; 2,5 e 1,33, respectivamente, visando avaliar o desempenho do coletor sintético KE[®]883 (mistura de sulfossuccinato de sódio e potássio com um álcool de cadeia longa) na flotação dos mesmos. As variáveis estudadas foram: dosagem do coletor sintético KE[®]883, dosagem do depressor amido gelatinizado e pH de flotação, usando a metodologia estatística de planejamento e análise fatorial de experimentos. Os resultados mostraram que as relações CaO/P₂O₅ dos concentrados foram maiores para os minérios com conteúdo de carbonatos mais elevados e crescentes com o aumento da dosagem de coletor. O melhor valor de pH e da dosagem de depressor para a flotação das quatro tipologias de minérios foi igual a 11 e 200 g/t, respectivamente. Ficou evidente a necessidade de etapas de limpeza para obtenção de concentrados dentro das especificações de mercado para todas as amostras estudadas.

Palavras-chave: rocha fosfática, flotação, sulfossuccinato.

1 - INTRODUÇÃO

Os principais minérios fosfatados brasileiros apresentam mineralogia complexa, baixo grau de uniformidade, teor baixo de apatita e elevado de carbonatos sendo de difícil beneficiamento, o que implica em problemas no seu aproveitamento industrial. A lavra e o processamento desses minérios levam a perda de fósforo, sendo 15% na lavra, 40% no beneficiamento, 2 a 5% no transporte e manuseio do concentrado fosfático. Finalmente, a assimilação do fósforo presente nos fertilizantes pelas plantas é muito baixa, ou seja, de 10 a 30%. Esses índices levam a um aproveitamento global máximo de apenas 8% do fósforo inicial. Como pode ser observada, uma das maiores perdas ocorre na etapa de beneficiamento, exigindo, cada vez mais, aprimoramentos no processo de concentração para um melhor aproveitamento das reservas fosfáticas, contribuindo, assim, para o desenvolvimento sustentado (Barros, 1997).

Embora intensivos esforços na pesquisa tenham sido feitos para desenvolver métodos práticos para obter a separação carbonato/apatita através da flotação, ainda não foram encontradas soluções para a maioria dos minérios estudados. Um dos casos de sucesso industrial é do processo Serrana, aplicado para tratar um minério fosfático carbonatítico (15% de apatita). O aspecto chave desse processo consistia no uso da flotação aniônica direta da apatita com ácidos graxos (*tall oil* saponificado) e depressão do carbonato com amido de milho gelatinizado num circuito alcalino. O processo evoluiu para a substituição do coletor por um reagente anfótero da família da sarcosina. Outros estudos mostraram que a rugosidade da superfície, o tamanho dos grãos e a contaminação de ferro influenciam a flotabilidade de apatitas e carbonatos. O desenvolvimento desse processo ajudou a diminuir a dependência brasileira por fosfatos estrangeiros (Assis et alii., 1988; Leal Filho et alii., 1990).

Os minérios superficiais da jazida de Tapira apresentam diferentes graus de alteração da apatita e minerais de ganga, acarretando dificuldades adicionais na sua flotação, a qual é feita utilizando ácidos graxos (óleo de soja) e amido de milho, como coletor e depressor, respectivamente. A alteração da apatita pode ocorrer pela substituição do íon cálcio da apatita por cátions bivalentes e/ou formação de minerais fosfáticos secundários. A solubilização da apatita e posterior reprecipitação com outros íons provoca não só a diluição do teor de fósforo em relação ao mineral de origem como também mudanças no sistema cristalográfico e alterações superficiais (Assis et alii., 1990; Salum et alii., 1990).

Lima e Peres (1994) estudaram o comportamento de dois minérios carbonáticos da jazida de Tapira (piroxenito e silixito) na flotação e verificaram que os melhores resultados foram obtidos com uma mistura de ácidos graxos derivados de óleo de arroz com reagentes sintéticos (sulfossuccinato e sulfossuccinato).

A composição química média dos concentrados de rocha fosfática, produzidos pela Fosfertil no ano de 2000 foram as seguintes: teores em termos percentuais de P_2O_5 (32,28), Fe_2O_3 (1,34), MgO (0,56), CaO (50,94), relação CaO/P_2O_5 (1,44) (Fosfertil, 2001).

Como a mina de Tapira-MG possui diversas tipologias de minérios, faz-se necessário estudar separadamente seus comportamentos frente ao processo de flotação, que é o método de concentração empregado industrialmente. Logo, este trabalho teve por objetivo verificar o comportamento de quatro tipologias de minérios fosfáticos de Tapira-MG, denominados piroxenito silicificado semi-compacto, piroxenito silicificado compacto, silixito e piroxenito serpentinizado, utilizando o coletor KE[®]883 (mistura de sulfossuccinato de sódio e potássio com um álcool de cadeia longa) e o depressor amido de milho.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Na tabela 1 estão apresentados os resultados das análises químicas das tipologias de minérios estudadas, realizadas no Laboratório Químico da Fosfertil pelo método de espectrometria de raios X. Através destas análises, observa-se que o minério piroxenito serpentinizado possui o maior teor de P_2O_5 (15,90%) e 20,86% de CaO , implicando em uma relação de CaO/P_2O_5 de 1,31. As outras três tipologias possuem teores baixos de P_2O_5 e elevados de CaO , ou seja são minérios de alta relação CaO/P_2O_5 (2,1 para o piroxenito silicificado semi-compacto, 3,1 para o piroxenito silicificado compacto e 2,5 para o silixito).

Tabela 1 - Composição química global das tipologias de minérios fosfáticos de Tapira-MG.

Tipologia	Teores (%)						
	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂
Piroxenito silicificado semi-compacto	5,29	4,32	4,20	11,03	2,31	32,09	6,21
Piroxenito silicificado sompacto	7,25	4,72	3,61	22,28	1,00	22,94	4,70
Silexito	8,43	4,03	4,57	20,87	0,42	18,81	13,55
Piroxenito serpentinizado	15,90	14,39	3,20	20,86	2,75	15,67	15,63

Os ensaios realizados consistiram de uma etapa *rougher* de flotação aniônica direta da apatita. Foi utilizada uma célula Denver do Laboratório de Tratamento de Minérios do CEFET-OP. Os reagentes utilizados foram:

- coletor: KE[®]883 (mistura de sulfossuccinato de sódio e potássio com um álcool de cadeia longa fabricado pela Cognis) a 5% p/v;
- depressor: amido de milho comercial (fabricado pela Cargill), gelatinizado com hidróxido de sódio a 2% p/v, relação amido/soda = 6/1;
- soluções de NaOH ou HCl a 1% p/v para ajuste do pH na faixa de 8 a 11.

Com base no procedimento padrão da Fosfertil para a flotação de minérios fosfáticos, foram selecionadas as variáveis consideradas de maior importância bem como a faixa de trabalho mais indicada. Os fatores foram associados às codificações dos geradores de forma a evitar se confundirem duas interações prováveis, conforme apresentado na Tabela 2. Para análise dos resultados foram adotadas como variáveis de resposta, o teor de P₂O₅ (X), recuperação de P₂O₅ (Y) e a relação CaO/P₂O₅ (Z), que representam a qualidade do produto.

Tabela 2 - Fatores e níveis selecionados associados à codificação dos geradores.

Fator	Níveis			Codificação dos geradores
	-	+	Intermediário	
Dosagem de coletor (KE [®] 883) (g/t)	300	900	600	A
Dosagem de depressor (amido de milho) (g/t)	300	700	500	B
pH na flotação	8	11	9,5	C

Nesse trabalho, o desvio-padrão foi utilizado para quantificar o grau de precisão ou reprodutibilidade das medidas. O erro experimental foi determinado através de quatro experimentos realizados em condições idênticas, utilizando níveis intermediários aos definidos para as variáveis, ver Tabela 2. Os resultados do planejamento fatorial de experimentos foram avaliados utilizando o algoritmo de Yates, que permite quantificar a significância dos efeitos de cada uma das variáveis estudadas e das interações entre elas.

Através dos resultados do primeiro planejamento fatorial de experimentos verificou-se que para todas as tipologias de minérios, todos os efeitos e interações foram significativos nas variáveis respostas estudadas. Desta forma, visando à otimização do processo, verificou-se a necessidade de se realizar um segundo planejamento de experimentos, onde se fixou o valor do pH em 11 e variou-se as dosagens de coletor e depressor em dois níveis conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Segundo planejamento de experimentos para todas as tipologias.

Fator	Níveis	
	-	+
Dosagem de coletor (KE [®] 883) (g/t)	500	1100
Dosagem de depressor (amido de milho) (g/t)	200	500
pH na flotação	11	

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4, estão apresentadas as equações da influência das dosagens do coletor KE[®]883 e do depressor amido de milho sobre a recuperação e teor de P₂O₅ e a relação CaO/P₂O₅ para as quatro tipologias de minérios estudadas.

Tabela 4 – Influência das variáveis dosagens de KE[®]883 e amido sobre as variáveis respostas teor de P₂O₅ (Y), Recuperação de P₂O₅ e relação CaO/P₂O₅ das quatro tipologias de minérios estudada em pH 11.

Tipologia de Minério	Equações das Variáveis Resposta
Piroxenito silicificado semi-compacto	X = 14,74 – 7,54A Y = 92,96 + 7,11A Z = 1,66 + 0,12A
Piroxenito silicificado compacto	X = 16,20 – 7,09A Y = 88,90 + 12,17A Z = 2,31 + 0,49A
Silexito	X = 22,22 – 8,00A Y = 86,11 + 11,99A Z = 1,83 + 0,30A
Piroxenito serpentinizado	X = 26,20 Y = 91,80 Z = 1,34

A – dosagem de KE[®]883

Como pode ser observado pela Tabela 4 verificou-se que entre os efeitos estudados, somente a dosagem do coletor teve efeito significativo sobre as variáveis resposta teor de P₂O₅, recuperação de P₂O₅ e relação CaO/P₂O₅ para as tipologias piroxenito silicificado semi-compacto, piroxenito silicificado compacto e silexito. Para a tipologia piroxenito serpentinizado, todas as três variáveis estudadas não tiveram efeitos significativos sobre nenhuma das variáveis respostas, pois neste caso o mesmo já se encontrava na condição otimizada. Para as demais tipologias (piroxenito silicificado semi-compacto, piroxenito silicificado compacto e silexito), utilizou-se os modelos representados pelas equações da Tabela 4 para simular ensaios de flotação com o coletor KE[®]883.

Nas Figuras 1, 2, e 3 estão apresentados os resultados da simulação de experimentos com o coletor KE[®]883 para os minérios piroxenito silicificado semi-compacto, piroxenito silicificado compacto e silexito. Como pode ser observado, o teor de P₂O₅ nos concentrados desses minérios diminuiu e a recuperação aumentou com a elevação da dosagem do coletor. Este comportamento é normal e pode ser atribuído à queda de seletividade na flotação entre a apatita e a ganga a ela associada em função do excesso de coletor presente.

De uma maneira geral, observa-se que os teores de P₂O₅ dos concentrados foram maiores para os minérios mais ricos e que a relação CaO/P₂O₅ foram maiores para os minérios com maiores conteúdos de carbonatos (veja as Figuras 1, 2 e 3). Observa-se também uma elevação da relação CaO/P₂O₅ com o aumento da dosagem do coletor para todas as três tipologias (PSSC- piroxenito silicificado semi-compacto, PSC - piroxenito silicificado compacto e, SILE- silexito). Além disso, observa-se a necessidade de etapas de limpeza dos concentrados produzidos para a obtenção de concentrados finais dentro das especificações comerciais.

Para a etapa *rougher* pode-se considerar satisfatória uma recuperação acima de 90%, pois nesta etapa a mesma é priorizada. Logo, nas simulações realizadas fixou-se o valor da recuperação de P₂O₅ em 90%. Desta forma, na condição otimizada para o minério piroxenito silicificado semi-compacto (dosagem de 675 g/t de coletor, 200 g/t de depressor) o teor de P₂O₅ do concentrado foi de 18% e a relação CaO/P₂O₅ foi de 1,6 (veja Figura 1). Para o minério piroxenito silicificado compacto na condição otimizada (dosagens de KE[®]883 e amido de 827 e 200 g/t) foram obtidos teor de P₂O₅ de e 15,6% e

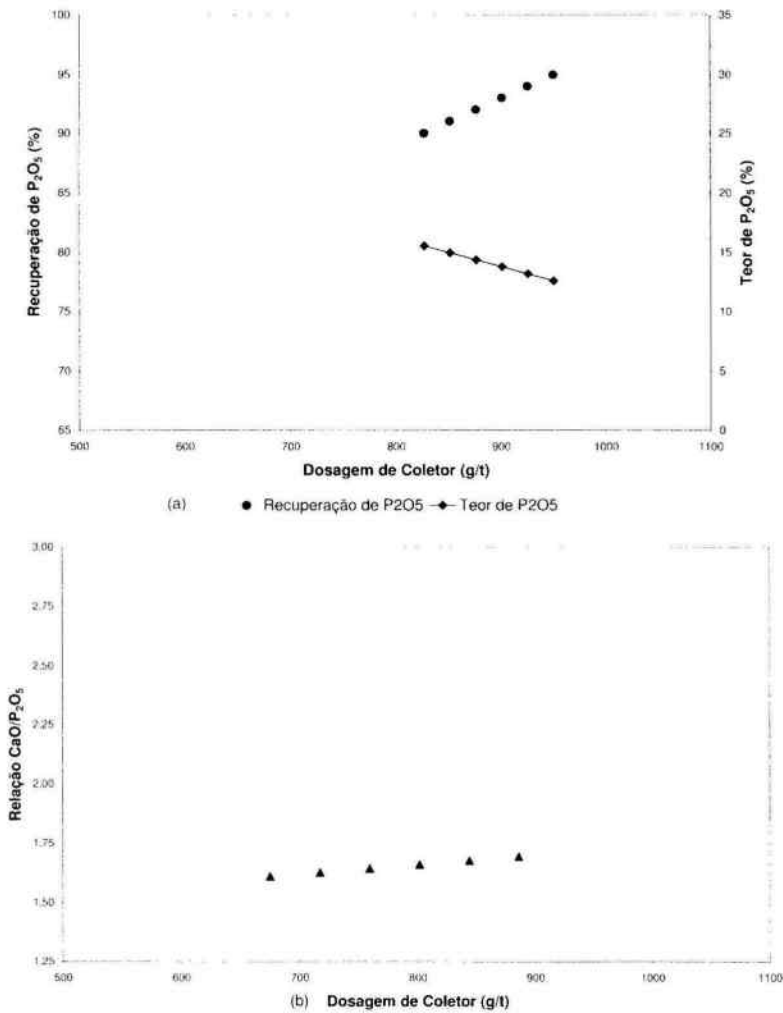


Figura 1 – Resultados da simulação de experimentos; coletor: KE[®]883; tipologia: piroxenito silicificado semi-compacto; pH igual a 11:

- (a) Recuperação e teor de P_2O_5 em função da dosagem de coletor;
- (b) Relação CaO/P_2O_5 em função da dosagem de coletor.

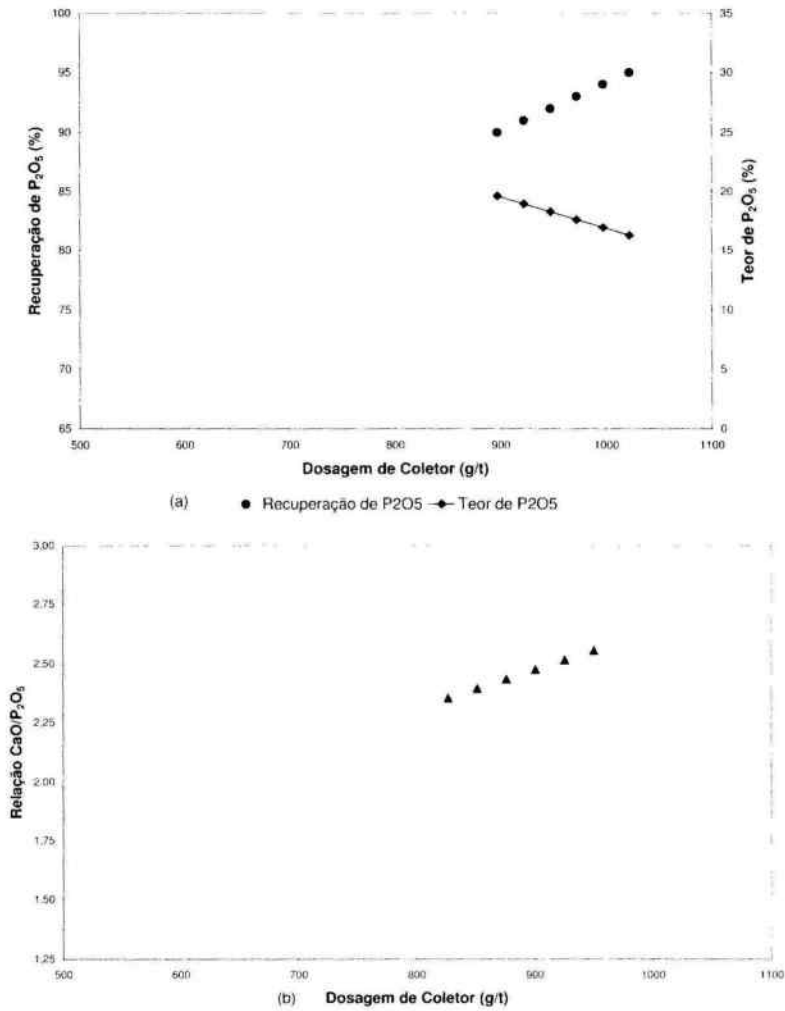


Figura 2 – Resultados da simulação de experimentos: coletor: KE[®]883; tipologia: piroxenito silicificado compacto; pH = 11;

- (a) Recuperação e teor de P_2O_5 em função da dosagem de coletor;
- (b) Relação CaO/P_2O_5 em função da dosagem de coletor.

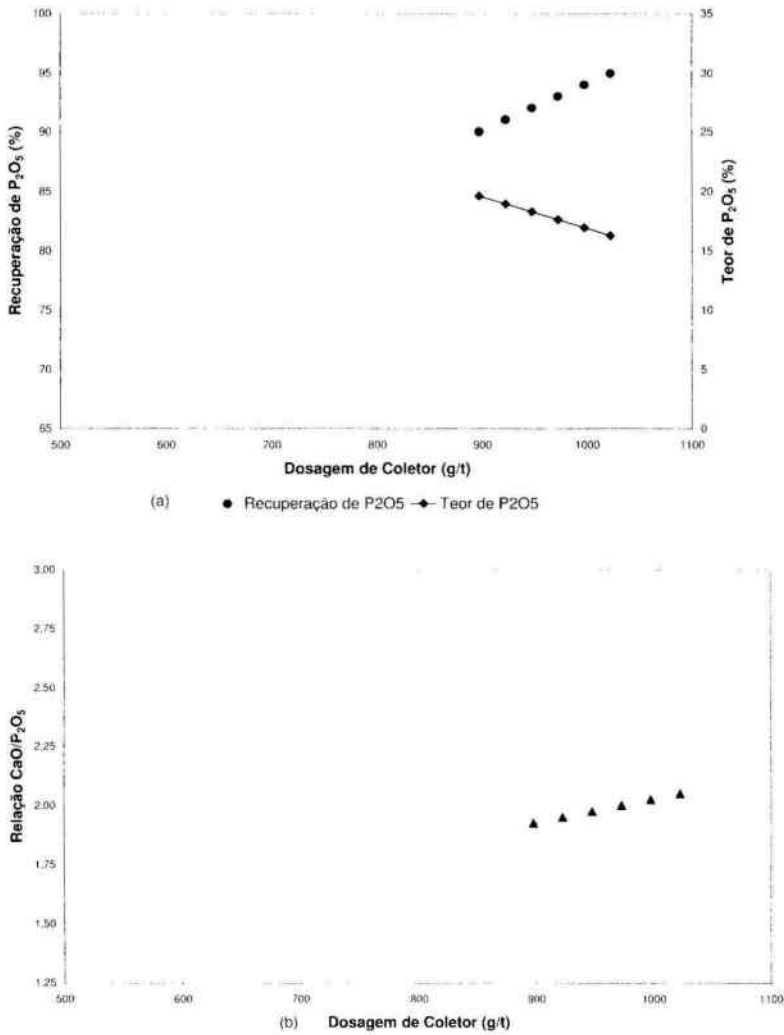


Figura 3 – Resultados da simulação de experimentos; coletor: KE¹⁰⁰ 883; tipologia: silixito; pH = 11;
(a) Recuperação e teor de P_2O_5 em função da dosagem de coletor;
(b) Relação CaO/P_2O_5 em função da dosagem de coletor.

relação $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ foi de 2,35 (veja Figura 2). Para o minério silixito foram obtidos teor de P_2O_5 igual a 19,6% e relação $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ de 1,93 para a dosagem de $\text{KE}^{\text{®}}$ 883 igual a 897 g/t, amido igual a 200 g/t. Para o piroxenito serpentinizado a condição otimizada foi obtida para as dosagens de $\text{KE}^{\text{®}}$ 883 e amido de 741 e 200 g/t, respectivamente, onde foram obtidos teor de P_2O_5 de 27,2% e relação $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ de 1,34.

4 - CONCLUSÕES

Para a flotação de todas as tipologias de minérios estudados, o melhor valor de pH e da dosagem de depressor foi, respectivamente, 11 e 200 g/t.

As melhores dosagens de coletor $\text{KE}^{\text{®}}$ 883 para as tipologias estudadas foram: 675 g/t para o piroxenito silicificado semi-compacto, 827 g/t para o piroxenito silicificado compacto, 897 g/t para o silixito e 741 g/t para o piroxenito serpentinizado.

Ficou evidente a necessidade de etapas de limpeza dos concentrados de todos os minérios estudados. No caso do minério piroxenito serpentinizado, foi obtido na etapa *rougher* um concentrado com maior teor de P_2O_5 (27,2%), porém longe das especificações de mercado, e relação $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ (1,34), dentro das especificações de mercado.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assis, S. M.; Salum, M. J. G.; Mello, M. O.; Barros, L. A. F. Caracterização da performance na flotação de um fosfato alterado de Tapira, MG. Anais do XIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, p. 323-336, Salvador, Brasil, 1990.
- Barros, L. A. F. Flotação da apatita da jazida de Tapira-MG. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 106 p, 1997.
- Fosfertil Complexo de Mineração de Tapira (CMT), Dados Gerais, Tapira, 17 p., 2001.
- Leal Filho, L. S.; Peres, A. E. C.; Oliveira, R. N.; Damasceno, A. H. T. Estudos de novos depressores para a flotação direta do fosfato de Jacupiranga. Anais do XIV Encontro Nacional de tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, p. 422-450, Salvador, Brasil, 1990.
- Lima, R. M. F.; Peres, A. E. C. Flotation of refractory phosphate ores. Proc. Flotation, a volume in memory of Alexander Sotulov, Ed. S. Castro, p. 207-213, Concepción, Chile, 1994.
- Salum, M. J. G.; Assis, S. M.; Pinto, A. P.; Araujo, A. C.; Barros, L. A. F. Microflotação, constituição e potencial zeta de fases minerais de um fosfato alterado de Tapira-MG. Anais do XIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, p. 323-336, Salvador, Brasil, 1990.