



## ESTUDO DE COLETORES PARA APATITA OBTIDOS VIA SAPONIFICAÇÃO/NEUTRALIZAÇÃO ALCÓOLICA

MARTINS, R.L.<sup>1</sup>, OLIVEIRA, P.S.<sup>1</sup>, SANTOS, G.O.<sup>2</sup>, SANTOS, A.M.A.<sup>2</sup>, PAIVA, A.H.L.<sup>2</sup>, SANTOS, L.H.<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas. e-mail: [rlmartins2506@gmail.com](mailto:rlmartins2506@gmail.com); [eng.priscila.oliveira@gmail.com](mailto:eng.priscila.oliveira@gmail.com)

<sup>2</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Departamento de Minas e Construção Civil, Laboratório de Tratamento de Minérios. e-mail: [guielh@gmail.com](mailto:guielh@gmail.com); [adriemeraciaa@gmail.com](mailto:adriemeraciaa@gmail.com); [augustolpaiva@outlook.com](mailto:augustolpaiva@outlook.com); [leandro.ufmg.minas@gmail.com](mailto:leandro.ufmg.minas@gmail.com).

### RESUMO

Ácidos graxos derivados de óleos vegetais, principalmente ácido oleico e seu sal, são reagentes coletores tradicionalmente utilizados na flotação de minérios fosfáticos. Novas fontes vegetais têm sido estudadas a fim de substituir o *tall oil*, sendo o óleo de soja (HIDROCOL<sup>®</sup>) uma fonte consolidada no Brasil. Assim, foi feita uma análise exploratória inicial do efeito de diferentes neutralizações do ácido oleico na recuperação de apatita, comparando a melhor condição com HIDROCOL<sup>®</sup> e o óleo de patauá, coletor recentemente investigado. A análise de cromatografia gasosa indicou que a amostra de óleo de patauá possui composição majoritária de ácido oleico, semelhante aos outros dois reagentes estudados. A neutralização do ácido oleico demonstrou-se mais vantajosa em meio aquoso do que em meio alcóolico, porém com tendências semelhantes para as variações de pH, concentração e granulometria dos minerais nos dois casos. Os maiores valores de flotabilidade ocorreram na concentração de 30 mg/L, pH 9,0 e para partículas grosseiras. Dos resultados comparativos dos reagentes, os coletores obtidos de óleos vegetais apresentaram resultados superiores em relação ao oleato em decorrência do efeito sinérgico da presença de ácidos graxos de variados tamanhos de cadeia.

**PALAVRAS-CHAVE:** óleo vegetal; fosfato; flotação; ácidos graxos.

### ABSTRACT

Fatty acids from vegetable oils, especially oleic acid and its salt, are traditional collectors in phosphate ore flotation. New vegetable sources are being investigated in order to replace tall oil, as soybean oil (HIDROCOL<sup>®</sup>) has become a consolidated practice in Brazil. This work initially studied the effects of different neutralization methods on apatite recovery, comparing the best condition with HIDROCOL<sup>®</sup> and pataua oil, a collector recently investigated. The gas chromatography analysis indicated that pataua oil sample was majorly composed by oleic acid, a similar profile to the other reagents studied. Oleic acid neutralization was better at aqueous medium than at alcoholic medium, but with similar trends for pH, concentration and particle size variation. The best apatite floatability was achieved at 30 mg/l, pH 9.0 and for coarse particles. The collectors obtained from vegetable oils had better results in comparison to oleic acid as a result of the synergic effect of fatty acids with different chain lengths.

**KEYWORDS:** vegetable oil; phosphate; flotation; fatty acids.

## 1. INTRODUÇÃO

Em um cenário de crescimento da população mundial e demanda por alimentos, somado à expansão do uso de biocombustíveis, os agrominerais constituem um grupo de minerais estratégicos. A necessidade de devolver ao solo agricultável os macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) consumidos pelo uso contínuo das culturas, a fim de restaurar áreas pouco férteis ou desenvolver novas áreas de plantio, resulta em expressivo aumento no consumo de fertilizantes.

Em larga escala, os minérios fosfáticos são a principal fonte viável de fósforo para o setor agrícola, sem substituto atualmente. Nesse cenário, cerca de 90% da produção mundial de minério fosfático é destinado à indústria de fertilizantes (AWADALLAH *et al.*, 1998). No contexto brasileiro, detentor de 0,6% das reservas mundiais, os minérios fosfáticos são ainda insuficientes e o país apresenta elevada dependência internacional (DNPM, 2011).

Para serem destinados à indústria de fertilizantes, os minérios fosfáticos precisam atender as especificações de teor mínimo de  $P_2O_5$  (35%), razão em peso  $CaO/P_2O_5$  (<1,6), e teor máximo de  $MgO$  (1%), sendo frequentemente submetidos a processos de concentração, especialmente a flotação (SIS e CHANDER, 2003). A concentração via flotação emprega majoritariamente os ácidos graxos de cadeias longas e seus sais, principalmente o ácido oleico e oleato de sódio, como coletores (BRANDÃO *et al.*, 1994, SIS e CHANDER, 2003). Óleos vegetais, provenientes de excedentes ou rejeitos de indústrias alimentícias, de coméstico e celulose, têm sido amplamente utilizados como fontes desses ácidos graxos. O *tall oil*, subproduto da indústria de papel, é a principal fonte utilizada mundialmente.

No Brasil, o *tall oil* também foi utilizado inicialmente nas plantas industriais de concentração de fosfato e posteriormente substituído por ácidos graxos provenientes dos óleos de arroz, soja e uva (EL-SHALL *et al.*, 2004). De fato, com o aumento do preço dos ácidos graxos tradicionalmente obtidos do *tall oil*, estudos tem sido realizados a fim de investigar novas fontes alternativas para serem utilizados em sua substituição (AL-THYABAT *et al.*, 2012; BRANDÃO *et al.*, 1994; COSTA, 2012; OLIVEIRA, 2005; OLIVEIRA, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2015; SIS e CHANDER, 2003). Nesse contexto, esta pesquisa buscou comparar a utilização do ácido oleico puro com o tradicional reagente HIDROCOL® e o coletor do óleo vegetal de patauá na flotação da apatita da região de Tapira, em diferentes granulometrias.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais deste trabalho incluem os ensaios de saponificação dos óleos (Patauá e Hidrocol®) e neutralização do ácido oléico, além de preparação e caracterização das amostras de coletor e mineral (apatita), e microflotação em tubo de Hallimond.

### 2.1. Preparação e caracterização das amostras dos coletores e da apatita

Os coletores de apatita avaliados neste trabalho correspondem ao produto da saponificação de óleo de Patauá (*Oenocarpus bataua*) e Hidrocol® (reagente industrial), além do produto da neutralização do ácido oléico.

A caracterização da amostra de óleos (Patauí e Hidrocol®) e ácido graxo contemplou técnicas de análise por cromatografia gasosa (CG). Para o Patauí, foi empregada análise em via úmida, em triplicata (índices de saponificação (ASTM D5558-95) e acidez (ASTM D5555-95)). Já os produtos sólidos da saponificação/neutralização foram submetidos à análise de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).

A caracterização da amostra de apatita (Tapira-MG) contemplou técnicas de análise mineralógica (DRX) e química (ICP-OES). Também foi realizado o refinamento pelo método Rietveld para análise semiquantitativa das fases presentes. Previamente aos ensaios de microflotação, a amostra foi preparada de acordo com as faixas granulométricas avaliadas no trabalho, sendo estas, grosseira (-0,212mm +0,075mm) e fina (-0,075mm +0,038mm).

## **2.2. Ensaios de saponificação/neutralização dos coletores**

Para as amostras de óleos foi empregado o método de saponificação a quente (aproximadamente 75°C), utilizando solução de hidróxido de sódio em etanol anidro e refluxo. O procedimento consistiu na reação de 4g do óleo com 100mL de solução alcoólica de NaOH 2,0% (m/v) em um balão sob aquecimento em chapa aquecedora e refluxo por uma hora. Para o ácido oléico, o procedimento contemplou apenas a neutralização de 4g do ácido graxo com 100mL de solução alcoólica de NaOH 2,0% (m/v) em um balão fechado, sem aquecimento. O tempo de reação foi de 30 minutos.

Ao fim do processo, os reagentes em pó foram obtidos por filtragem do produto da saponificação/neutralização, em papel filtro Melitta® com etanol anidro, e posterior secagem em estufa a aproximadamente 80°C por 24 horas.

Para o ácido oléico, ainda foi executada a saponificação convencional. Foi preparada uma solução estoque de 2.000mg/L a partir de 2,06g de ácido graxo e 2,9mL de solução aquosa de NaOH (5,0% m/v). A partir dessa solução, foram realizadas diluições para se obter a solução final na concentração especificada para cada ensaio.

## **2.3. Ensaios de microflotação**

Foram realizados ensaios de microflotação (triplicata) empregando os coletores gerados, em busca de avaliar o desempenho destes na coleta de apatita. A unidade experimental foi composta de tubo de Hallimond modificado, montado sobre agitador magnético, acoplado a rotâmetro. Os testes de arraste mecânico foram realizados em triplicata, nas condições operacionais do ensaio.

Para o ensaio de microflotação, 0,5g de amostra foram condicionados com 25mL de solução de coletor na concentração e pH do ensaio, por 5 minutos. Após, o volume do tubo foi completado com a mesma solução de coletor, a injeção de gás nitrogênio (60mL/min) foi acionada e a flotação realizada durante 1 minuto. Cessado o ensaio, flotado e afundado foram filtrados, submetidos à secagem em estufa (80°C por 24 horas) e pesados em balança analítica. Foi calculada a fração de material flotado em cada ensaio (flotabilidade).

Inicialmente, objetivou-se avaliar o desempenho do oleato de sódio como coletor de apatita em função do tipo de neutralização empregado (convencional e alcóolica), para diferentes cenários de pH (9,0 e 11,5), concentração (10 e 30mg/L) e granulometria (fina e grosseira).

Em seguida, foram realizados ensaios de microflotação (quaduplicata) empregando os coletores obtidos a partir da saponificação/neutralização alcóolica. As condições aplicadas foram pH 9,0 e concentração 5,5mg/L. Tal concentração se justifica pela menor

concentração micelar crítica dos coletores de óleos vegetais, minimizando a possibilidade de a formação de micelas afetar negativamente a flotabilidade. A amostra utilizada nestes ensaios foi composta pela mistura de quantidades equivalentes de material das faixas fina e grosseira, apresentando granulometria mista (-0,212mm +0,038mm) e d50 igual a 0,075mm. Assim, poderiam ser aferidos indícios de sensibilidade do oleato à presença de finos, avaliado na fase inicial deste trabalho.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização dos coletores e da apatita, bem como os dados obtidos nos testes de microflotação serão abordados neste tópico.

#### 3.1. Caracterização dos coletores e da apatita

Os resultados da cromatografia gasosa dos óleos e ácido graxo, obtida por normalização de áreas do cromatograma, estão apresentados na Tabela 1, juntamente com os dados fornecidos pelo fabricante (Amazon Oil), para o Patauá.

**Tabela 1. Caracterização via Cromatografia Gasosa dos óleos e ácido graxo avaliados, em %massa.**

Ácido Graxo	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	Outros	Total
Ácido Oleico	0,0	0,0	1,6	0,0	2,7	88,7	6,6	0,0	0,0	0,4	100,0
Hidrocol®	0,0	0,4	18,0	1,5	5,2	27,4	42,1	4,6	0,2	0,4	99,8
Patauá	0,7	0,5	11,5	0,7	4,4	75,0	5,9	0,5	0,3	0,5	100,0
Amazon oil	-	-	6 - 15	< 2,0	2 - 9	68 - 83	2 - 9	< 5,0	-	-	

O índice saponificação é indicativo do tamanho relativo das cadeias hidrocarbônicas dos ácidos graxos presentes em uma amostra de óleo e/ou gordura. Já a acidez de um óleo vegetal é resultado do processo de hidrólise dos glicerídeos em ácidos graxos pela ação de enzimas denominadas lipases (OLIVEIRA et al., 2016). Uma quantidade significativa desses ácidos encontrados na forma livre prontamente disponível para a reação de neutralização pode ser considerada benéfica, visto que proporcionam a formação imediata de sabão, agindo como catalisadores da reação (CAIRES, 1992; OLIVEIRA, 2005).

A Tabela 2 apresenta os resultados de determinação de índice de saponificação e de acidez para o Patauá, juntamente com os valores fornecidos pelo fabricante e pela *American Oil Chemists' Society* (AOCS). Os resultados obtidos para o índice de saponificação se mostram ligeiramente inferiores aos indicados pelo fabricante e pela AOCS. Já para o índice de acidez, os valores encontrados estão em conformidade com a indicação do fabricante.

**Tabela 2. Resultados da caracterização do óleo de Patauá.**

	Amostra	Amazon Oil	AOCS
Índice de saponificação (mg KOH.g <sup>-1</sup> )	180,3±2,5	192–209	190–196
Índice de acidez (mg KOH.g <sup>-1</sup> )	7,44±0,21	<10,0	-

Os resultados de FTIR dos produtos da saponificação de óleo de Patauá e Hidrocol®, e da neutralização do ácido oléico indicaram grande extensão da produção sais de ácidos graxos, a qual foi associada ao aparecimento de uma banda em 1558cm<sup>-1</sup>, típica dos sais sódicos de ácidos graxos e ao desaparecimento de bandas na região de 1710cm<sup>-1</sup>,

características dos ácidos graxos livres (MIRGHANI et al., 2002). Os sais sódicos constituem a forma solúvel do coletor, capaz de dissociar e estabelecer interação com a superfície da apatita durante a adsorção do coletor nesta. Tais características do espectro refletem a reação de saponificação e indica que o processo foi aproximadamente completo, não sendo possível, entretanto, especificar o grau de conversão dos precursores em reagente coletor. Algumas bandas características dos álcoois são observadas, sendo previstas no espectro, uma vez que tanto a reação de saponificação como o processo de filtragem ocorreram em meio alcoólico.

Através da análise do DRX da amostra de apatita e do refinamento pelo método Rietveld, foi constatada sua elevada pureza (99%), com traços de quartzo (<1%). Segundo o resultado fornecido pelo ICP-OES, a amostra de apatita apresenta 90,58% de pureza.

### 3.2. Ensaios de microflotação

A partir de ensaios de microflotação, avaliou-se cenários comparativos para o tipo de neutralização do ácido oleico. As condições empregadas, juntamente com os resultados de flotabilidade obtidos, seguem na Figura 1.

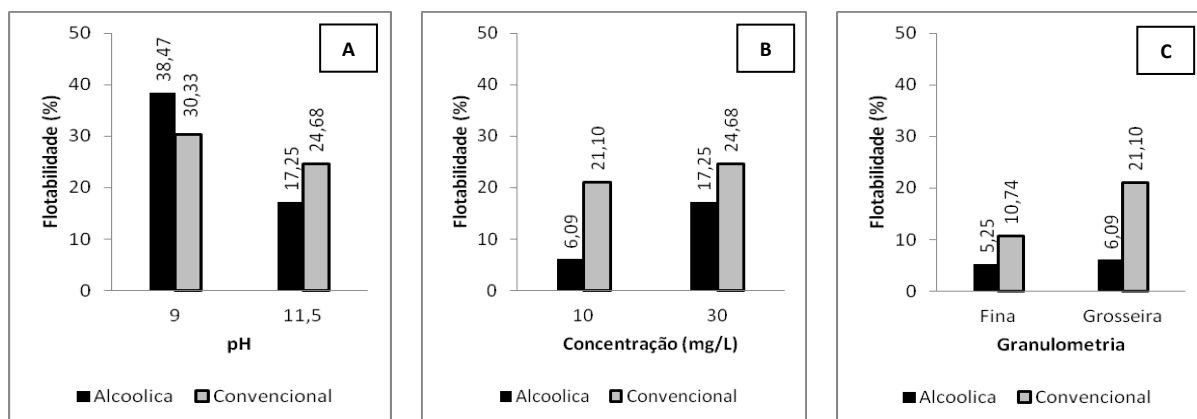


Figura 1. Resultados comparativos para a neutralização do ácido oléico em relação ao pH do sistema (A), concentração do coletor (B) e granulometria da amostra (C).

Considerando os cenários avaliados, é nítido o desempenho superior do coletor obtido a partir da neutralização convencional, em detrimento do obtido por neutralização alcoólica. Apenas no cenário que considera pH 9 os resultados refletem o fenômeno oposto. Tal discussão confronta os resultados de caracterização via FTIR oleato obtido pela neutralização alcoólica, uma vez que no espectro obtido foi constatada a presença da banda característica do grupo funcional responsável pela coleta de apatita (RCOONa).

Essa discrepância entre o desempenho dos coletores poderia ser atribuída à diferença entre a extensão da reação de neutralização em função do método empregado. Segundo essa hipótese, a neutralização alcoólica poderia ter sido interrompida antes do tempo necessário para a neutralização total do ácido graxo. A análise do espectro correspondente não reforça essa inferência, pois não são encontradas bandas características do ácido graxo livre neste. Caso a neutralização não houvesse atingido a extensão total da reação, era esperado encontrar essas bandas no espectro do coletor obtido por esse método.

Outro ponto a ser considerado corresponde ao tempo de reação empregado. Foram avaliados tempos superiores a 30 minutos, mas o produto formado apresentou aspecto gelatinoso. Ainda, quando submetido à secagem em estufa, o mesmo se decompôs, inviabilizando a obtenção do produto sólido da neutralização. Assim, tempos de reação superiores ao empregado no método se mostraram inviáveis, não justificando o aumento do tempo de reação em busca de uma extensão maior da neutralização.

Ainda segundo a análise da Figura 3, o efeito da variável avaliada em cada um dos cenários sobre a flotabilidade de apatita pode ser discutido. Para o pH do sistema (Figura 3A), condições mais básicas (pH 11,5) desfavorecem a flotabilidade em relação ao pH 9,0. Isso se deve à especiação do coletor em função do pH, ou seja, para valores mais altos de pH, a espécie predominante do coletor no sistema apresenta função de coleta prejudicada em relação à espécie predominante em pH 9,0.

A concentração do coletor no sistema afeta positivamente o desempenho da microflotação de apatita, uma vez que concentrações maiores favorecem a neutralização sob duas vertentes distintas. Ao mesmo tempo em que concentrações maiores reforçam a cinética da reação, promove o equilíbrio químico de adsorção do coletor sobre as partículas de apatita. Em ambos os cenários, essas condições favorecem a hidrofobização das partículas, promovendo maior coleta destas.

A granulometria demonstrou influência negativa sobre a flotabilidade de apatita. Assim, a faixa fina apresentou resultados bem inferiores em relação à faixa grosseira. Esse comportamento foi atribuído a características das partículas de granulometria menor que afetam diretamente a flotabilidade destas. Por apresentarem massas inferiores, partículas finas estão mais suscetíveis ao arraste mecânico durante o regime hidrodinâmico no tubo de Hallimond. Assim, grande proporção das partículas flotadas nessa faixa granulométrica é atribuída ao arraste mecânico, sendo descontadas do resultado final de flotabilidade, mesmo que tenham sido coletadas a partir de colisão/adesão à bolha. Ainda, devido à maior área superficial dessa classe de partículas, a hidrofobização destas demandaria maior quantidade de coletor para promover a adesão deste sobre estas. Logo, a microflotação destas partículas seria favorecida para sistemas contendo maior concentração de coletor, apresentando resultados inferiores para a mesma concentração em relação à faixa grosseira.

Vale ressaltar que, exceto para o cenário de avaliação da granulometria, as variações observadas nos resultados de flotabilidade são mais sensíveis para o oleato obtido via neutralização alcóolica. Os ensaios realizados com o oleato obtido via neutralização convencional apresentam resultados mais estáveis em relação às variações promovidas nos cenários considerados.

Em seguida, ensaios de microflotação (quadruplicata) avaliaram o desempenho dos coletores (Pataua e Hidrocol®) obtidos via saponificação alcóolica, comparativamente aos resultados obtidos para o oleato obtido pelo mesmo método. As condições deste teste foram para concentração 5,5mg/L, pH 9,0 e granulometria mista (-0,212mm +0,038mm, d50=0,075mm). A Figura 2 apresenta os resultados obtidos.

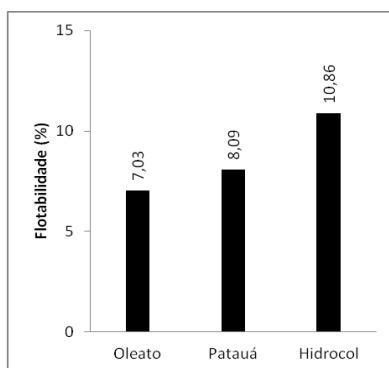


Figura 2. Resultados dos ensaios de microflotação para os coletores avaliados.

Pela análise dos resultados, é possível constatar o efeito deletério da presença de finos na amostra sobre o desempenho da microflotação, demonstrado pelos valores reduzidos obtidos para o oleato sobre a flotabilidade. Ainda, os resultados obtidos para ambos os coletores de óleo vegetal apresentaram resultados superiores em relação ao oleato, com destaque para o Hidrocol®, sendo este o reagente empregado industrialmente. Como não foi estudado o efeito da granulometria fina sobre os coletores de óleo vegetal, os resultados demonstram indício de que estes devam ser menos sensíveis à presença de finos.

Vale ressaltar que a neutralização/saponificação alcóolica se justifica pelo fato de eliminar a necessidade de produção do coletor em vários momentos diferentes durante os trabalhos de pesquisa. Isso porque, a partir de uma batelada de ensaios, pode ser obtido um lote único de coletor que, após homogeneização, apresenta características fixas, eliminando essa variável no trabalho. Para a reação convencional, tal premissa não se fundamenta necessariamente, pois para cada reação realizada, não pode ser garantida a reprodutibilidade das características do coletor, mesmo seguindo a mesma metodologia definida previamente. Ainda, para o óleo de Patauá, a saponificação alcóolica a quente se mostrou necessária devido à composição majoritária de triglicerídeos na sua composição. Estes compostos precisam ser decompostos em ácidos graxos livres durante a reação, para então serem neutralizados pelo álcali.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise de cromatografia gasosa indica que a amostra de óleo de patauá possui composição majoritária de ácido oleico, assemelhando-se, portanto, aos outros dois reagentes estudados.

Com relação ao ácido oleico neutralizado, a reação com solução aquosa demonstrou ser melhor na maioria dos valores de pH estudados, indicando que a reação de neutralização possa ter ocorrido em maior extensão nesse caso. Contudo, semelhantes tendências foram observadas para os dois casos com a variação de pH, concentração e granulometria do mineral. O aumento da concentração do coletor afeta positivamente a flotabilidade da apatita conforme disponibiliza mais moléculas de coletor para a hidrofobização das partículas. Analogamente, com a diminuição do tamanho das partículas, e conseqüente aumento da área superficial, maiores quantidades de coletores são necessárias para valores de flotabilidade de partícula finas comparáveis aos necessários para partículas mais

grosseiras. Por fim, valores mais alcalinos de pH favorecem à especiação de dímeros do coletor, sendo prejudiciais à recuperação do mineral.

Na análise comparativa dos reagentes, ambos os coletores obtidos de óleos vegetais apresentaram resultados superiores em relação ao oleato, com destaque para o Hidrocol<sup>®</sup>, em decorrência do efeito sinérgico da presença de ácidos graxos de variados tamanhos de cadeia.

## **5. AGRADECIMENTOS**

Agradecimentos ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e Minas da UFMG (PPGEM), a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento financeiro para a realização e publicação da pesquisa. E também a Amazon Oil pela disponibilização da amostra de óleo e informações pertinentes à pesquisa.

## **6. REFERÊNCIAS**

- AL-THYABAT, S.; HARAREH, M.; TARAWNEH, K.; AL-ZOUBI, H. Preliminary investigations into the use of jojoba oil as a possible collector in phosphate flotation. IN: ZHANG, P.; MILLER, J.; EL-SHALL, H. Beneficiation of phosphate ores: new thought, new technology, new development. 1a ed. Englewood: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2012. p.343-352
- AWADALLAH, R. M., MOHAMED, A. E., EL HAZEK, N. T., HASSAN, M. Y. Beneficiation of West Sibaiya phosphate ores by flotation in alkaline media. Metallurgical and Materials Transactions B 1998; 29B; 1149-1156.
- BRANDÃO, P. R. G.; CAIRES, L. G.; QUEIROZ, D. S. B. Vegetable lipid oil-bases collectors in the flotation of apatite ores. Minerals Engineering 1994 ; 14 (7); 917-925.
- CAIRES, L. G. Óleos Vegetais como Matérias-Primas para Coletores. [Dissertação de mestrado]. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 1992.
- COSTA, D.S. Uso de óleos vegetais amazônicos na flotação de minérios fosfáticos. [Tese de Doutorado]. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2012.
- DNPM. Anuário Mineral 2010. Brasília: DNPM/MME, v. 35, 135 p., 2011.
- EL-SHAL, H. ZHANG, P.; ABDEL-KHALEK, N. A.; EL-MOFTY, S. Beneficiation technology of phosphate: challenges and solutions. Minerals and Metallurgical Processing 2004; 21(1); 17-26.
- MIRGHANI, M.E.S.; CHE MAN, Y.B.; JINAP, S.; BAHARIN, B.S.; BAKAR, J. FTIR Spectroscopic Determination of Soap in Refined Vegetable Oils. Journal of the American Chemists' Society 2002; 79(2); 111-116
- OLIVEIRA, J.A. Grau de saponificação de óleos vegetais na flotação seletiva de minério carbonatítico. [Dissertação de mestrado]. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto; 2005.
- OLIVEIRA, P. S. Caracterização do óleo de pataú e utilização para obtenção de um reagente coletor para a flotação de minério fosfático. [Dissertação de mestrado]. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2017.
- OLIVEIRA, P.S.; PERES, A.E.C.; MANSUR, H.S. Caracterização e potencial aplicação do óleo vegetal de pataú na flotação de apatita. In: XXII Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais; 2016Nov 06-09; Natal, Brasil. (CBECiMat). p. 429-440.
- SILVA, A.C.; SILVA, E.M.S.; ROCHA, T.W.P. Microflotação de apatita utilizando o óleo da castanha de macaúba (*Acrocomia aculeata*) como coletor. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração 2015; 12(2); 146-152.
- SIS, H.; CHANDER, S. Reagents used in flotation of phosphate ores: a critical review. Minerals Engineering 2003; 16; 577-585.