



AValiação DO DESEMPENHO DE REAGENTES ALTERNATIVOS NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO FOSFÁTICO, ROCHA FRESCA, UTILIZANDO PLANEJAMENTO FATORIAL

ADRIELE M. A. SANTOS¹, SOFIA L. S. SOUZA¹, JOÃO VICTOR S. ALVES¹, NATAL J. PIRES², MICHELLY S. OLIVEIRA^{1*}, LEANDRO H. SANTOS¹

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais,
Departamento de Minas e Construção Civil.

²Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais,
Departamento de Formação Geral.

*e-mail: michelly@cefetmg.br

RESUMO – Para suprir a crescente demanda por fertilizantes, estratégicos na produção de alimentos, são fundamentais formas eficientes de concentração da sua principal matéria-prima, a rocha fosfática. Ademais, quando o minério fosfático apresenta ganga carbonatada, como o depósito mineral de Araxá-MG, há uma dificuldade de seletividade na separação das espécies minerais, prejudicando o desempenho da flotação. A busca por reagentes que apresentem seletividade, baixo custo e alta disponibilidade tem sido alvo de pesquisas. Assim, objetivou-se nesse trabalho, avaliar um reagente depressor (resíduo amiláceo) e reagentes coletores (óleo amazônico de Andiroba e Hidrocol) na flotação de minério fosfático. Para isso, o minério previamente caracterizado foi submetido a ensaios de flotação em célula mecânica de bancada. As variáveis independentes avaliadas foram tipo de coletor, dosagem de coletor e dosagem de depressor, com dois níveis e ponto central, conforme o planejamento fatorial. Os resultados revelaram que o Hidrocol, em níveis mínimos de dosagem, proporcionou obtenção de concentrados com maior teor de P₂O₅ (17,78%) e recuperação metalúrgica (66,29%). Contudo, o óleo amazônico, em níveis máximos de dosagem, apresentou teores similares, mas com valores inferiores de recuperação, indicando ser um reagente seletivo e apresentando-se promissor, tendo em vista que o óleo é um resíduo de processos industriais.

INTRODUÇÃO

O Brasil, ao longo do tempo, obteve um lugar de destaque mundial no setor agrícola. Isso porque houve um aumento na produção de alimentos que foi possibilitado pelo uso de fertilizantes na agricultura. Contudo, apesar da grande demanda apresentada por fertilizantes nas culturas, cerca de 80% desse insumo é obtido via importação, deixando o país em uma situação de dependência externa. Diante desse contexto, iniciativas vêm sendo desenvolvidas para que a produção interna aumente. Uma dessas iniciativas está ligada a mineração sustentável, buscar o máximo aproveitamento

dos depósitos minerais. A mineração é a principal fonte de matéria-prima para a produção dos fertilizantes (EPE, 2019; Benite, 2015, Reetz, 2017).

O depósito mineral de Araxá foi originado em um ambiente magmático, com complexo alcalino-carbonatítico. Devido ao intemperismo, na parte superior do depósito concentra o minério oxidado, à medida que a mina vai se aprofundando o minério se torna menos oxidado em direção a rocha fresca. No entanto, a rocha fresca possui um menor teor de minério e alterações das características químicas e físicas, ocasionando baixos rendimentos na flotação, afetando assim a

produção do concentrado fosfático (Grasso, 2015, Cruz *et al.*, 2011).

Tal cenário provocou o desenvolvimento de tecnologias, para que fosse possível o melhor aproveitamento desse minério mais complexo. Assim, há estudos buscando otimização de rotas de concentração, que possibilitem a produção de concentrados fosfáticos dentro das especificações de mercado para produção de fertilizantes (Souza *et al.*, 2014; Guimarães *et al.*, 2004).

Esses estudos estão muitas vezes ligados à etapa de concentração devido à dificuldade de separar o mineral-minério (apatita) dos minerais de ganga carbonatados (calcita e dolomita), decorrente da similaridade superficial existente entre eles. Para contornar essa situação, reagentes vêm sendo desenvolvidos para que a flotação apresente seletividade. Estudos como os realizados por Souza *et al.* (2014), Oliveira (2007), Carneiro (2018), Carneiro *et al.* (2021), Guimarães *et al.* (2004), Martins *et al.* (2019), Oliveira *et al.* (2019), dentre tantos outros apresentados pela literatura, trazem estudos fundamentais, além da análise de desempenho de coletores e depressores. Eles mostram essa iniciativa científica na busca das condições ótimas, nas operações de flotação do minério fosfático.

A variedade de espécies vegetais de origem amazônica, especialmente no Brasil, fornece recursos para a obtenção de reagentes alternativos para sistemas de flotação. Essas fontes graxas, como o óleo de Andiroba (*Carapas guianensi*), apresentam alto potencial de aplicação devido a sua ampla disponibilidade técnica e econômica, por se tratar de espécies endêmicas na região onde são encontradas. Ainda, para algumas delas, é possível extrair óleos e gorduras a partir do resíduo da utilização destas por outras indústrias, reforçando sua importância (Silva *et al.*, 2018).

Paiva (2019) e Santos *et al.* (2022) desenvolveram estudos fundamentais usando o óleo de Andiroba na flotação de apatita e carbonatos. Nos ensaios de microflotação desenvolvidos pelos autores, o reagente se mostrou muito promissor na flotação seletiva de apatita. Sendo assim, esse trabalho se caracteriza como ensaios iniciais, para a tentativa de transferência do estudo

fundamental para ensaios de flotação em bancada. Além disso é uma das primeiras iniciativas para utilização do coletor a base de óleo de Andiroba na flotação de um minério fosfático complexo.

Diante disso, esse trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de reagentes coletores (óleo de Andiroba e Hidrocol) e um reagente depressor (resíduo amiláceo), na flotação de minério fosfático, de rocha fresca, oriundo de Araxá-MG. Para isso, foi utilizado o planejamento fatorial como ferramenta para o planejamento dos ensaios e análises dos dados, avaliando o teor e a recuperação de P_2O_5 dos produtos da flotação.

MATERIAL E MÉTODOS

Nesse estudo utilizou-se uma amostra de minério fosfático, oriundo de um afloramento de bebedourito, constituindo-se de rocha fresca, denominada de BEB 01, do Complexo Carbonatítico do Barreiro, Araxá-MG. A amostra foi cedida pela empresa parceira, previamente preparada, com granulometria adequada para os testes de flotação. As etapas de preparação da amostra foram britagem, moagem, separação magnética e deslamagem.

A análise química da alimentação e dos produtos foi realizada por espectroscopia de fluorescência de raios-X. A densidade do minério foi obtida por picnometria, conforme descrito por Sampaio e Silva (2007).

A análise granulométrica foi realizada via peneiramento a úmido, em peneirador suspenso. Para isso as peneiras usadas foram de 48# (0,296mm), 65# (0,209mm), 100# (0,148mm), 150# (0,105mm), 200# (0,074mm), 270# (0,052mm), 325# (0,044mm) e 400# (0,037mm).

Preparação dos reagentes

Para os ensaios de flotação e preparação de reagentes, foram seguidas metodologias de trabalhos anteriores realizados por Santos (2017) e Carneiro (2018). Os reagentes coletores selecionados foram o óleo de Andiroba (A1), um óleo amazônico, escolhido baseado no trabalho de Paiva (2019) e, para efeito de comparação, foi utilizado um reagente convencional, um óleo de soja parcialmente

hidrogenado, conhecido como Hidrocol. O depressor selecionado foi o amido de batata residual, baseado nos resultados obtidos por Carneiro (2018).

Quanto à preparação desses reagentes, o óleo A1 e o Hidrocol, foram saponificados, para obtenção do coletor. Assim, foram pesados 5 g de óleo, 7,85 g de água, 7,15 g de NaOH e 180 g de água para diluição. Após isso, o óleo, a água e o NaOH foram misturados em agitador magnético por 10 minutos. Depois, foi adicionado a água de diluição e agitado por mais 10 minutos. As soluções preparadas com concentração 2,5% (m/m) de óleo, e relação óleo:soda 7:1. A Figura 1 mostra as duas soluções de coletores após saponificação.

Para o depressor, foi realizada sua gelatinização, sendo pesados 5 g de amido, 45 g de água, 12,5 g de NaOH, e 104,16 g de água de diluição. Após isso, o amido, a água e o NaOH foram misturados em agitador mecânico a 500 rpm por 10 minutos. Depois, foi adicionado a água de diluição e agitado por mais 10 minutos. As soluções foram preparadas a 3% (m/m) e relação amido:soda 4:1.



Figura 1: Soluções do coletor Hidrocol (à esquerda) e Óleo A1 (à direita)

Teste de flotação

Os ensaios de flotação foram realizados em célula mecânica Denver, com cuba de 1,5 L (volume útil de 1,25 L). A Figura 2 ilustra o equipamento. O percentual mássico de sólidos durante o condicionamento e a flotação foi de 50% e 25%, respectivamente. O tempo de condicionamento do minério com o coletor e com o depressor foi igual a 5 minutos. Após o condicionamento, o ar foi introduzido por meio da depressão criada pelo impelidor. O tempo de

flotação foi cerca de 2 min, tempo de coleta de espuma. Os produtos flotado e afundado foram secos em estufa, e posteriormente pesados, quarteados e enviados para análise química.



Figura 2: Célula mecânica Denver

Durante o condicionamento e a flotação, observou-se que o pH se manteve entre 9,4 a 9,6, assim, não foi utilizado regulador de pH.

Planejamento dos ensaios

Quanto ao planejamento dos ensaios, foi utilizado o planejamento fatorial 2^k , com $k=3$, onde as variáveis independentes foram tipo de coletor, dosagem de coletor e dosagem de depressor, em dois níveis e com 8 pontos centrais, totalizando 16 ensaios. As variáveis de resposta analisadas foram teor de P_2O_5 e recuperação metalúrgica.

A recuperação metalúrgica (ou recuperação de P_2O_5) foi calculada pela Equação 1, utilizando as massas da alimentação (A), do concentrado (C) e os teores de P_2O_5 na alimentação (a) e no concentrado (c), para cada ensaio.

$$R = \frac{c.C}{a.A} * 100 \quad (1)$$

Para a análise estatísticas foi utilizado o software Minitab. A matriz do planejamento experimental está apresentada na Tabela 1 e a conversão dos níveis utilizados na Tabela 2. Como a variável tipo de coletor é qualitativa, foram propostos 4 ensaios no ponto central

usando o coletor Hidrocol e 4 ensaios com o óleo de Andiroba (A1).

Tabela 1: Matriz do planejamento fatorial

Ensaio	Tipo de Coletor	Dosagem de Coletor	Dosagem de Depressor
1	1	1	1
2	-1	0	0
3	1	-1	1
4	1	-1	-1
5	1	0	0
6	-1	0	0
7	1	1	-1
8	-1	1	1
9	1	0	0
10	1	0	0
11	1	0	0
12	-1	-1	-1
13	-1	0	0
14	-1	1	-1
15	-1	-1	1
16	-1	0	0

Tabela 2: Níveis das variáveis independentes.

Níveis	Tipo de Coletor	Dosagem de Coletor	Dosagem de Depressor
1	Hidrocol	500	350
0	Hidrocol ou óleo A1	350	225
-1	Óleo A1	200	100

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química da amostra da alimentação está apresentada na Tabela 3. A amostra BEB 01 apresentou um teor inicial de P_2O_5 de 6,55%, valor condizente para minérios fosfáticos complexos, como o estudado por Carneiro (2018), que trabalhou com um minério fosfático sílico-carbonatado, com teor inicial de 6,08%. As relações CaO/P_2O_5 , Fe_2O_3/P_2O_5 e Al_2O_3/P_2O_5 foram 3,24; 1,44 e 0,27, respectivamente. A densidade do minério foi igual a $3,14 \pm 0,06$ g/cm³, obtida por picnometria, conforme descrito por Sampaio e Silva (2007).

A análise granulométrica revelou que 27,45% das partículas estavam abaixo de 37 μ m. Outra observação importante é que 80%

das partículas (d_{80}) estavam abaixo de 120 μ m, indicando que a amostra estava com a granulometria adequada para os ensaios de flotação, considerando que a apatita apresenta grau de liberação satisfatório em uma granulometria abaixo de 212 μ m.

Tabela 3: Composição química do BEB 01.

	P_2O_5	Fe_2O_3	MgO	CaO	Al_2O_3
(%)	6,55	9,45	13,51	21,21	1,76
	TiO ₂	SiO ₂	BaO	SrO	Nb ₂ O ₅
(%)	3,33	26,86	0,24	0,67	0,10

Os resultados de teor de P_2O_5 e recuperação metalúrgica de cada ensaio estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados da flotação.

Ensaio	Teor P_2O_5 (%)	Recuperação P_2O_5 (%)
1	10,04	97,92
2	16,63	13,86
3	15,02	79,54
4	17,78	66,13
5	11,81	94,12
6	13,65	3,12
7	10,09	95,27
8	16,93	34,03
9	11,71	99,01
10	11,97	95,49
11	15,66	83,23
12	11,48	1,42
13	15,23	17,72
14	15,21	37,99
15	8,58	1,27
16	15,29	15,06

A Tabela mostra de maneira geral, que o coletor Hidrocol (ensaos 1, 3, 4, 5, 7, 9, 10 e 11) proporcionou maiores recuperações metalúrgicas quando comparado ao óleo de Andiroba, nas mesmas condições. Ambos reagentes são a base de ácidos graxos, adsorvem na superfície da apatita por mecanismo químico (Oliveira, 2007 e Santos *et al.*, 2022) no entanto, a composição dos ácidos é diferente. Segundo Santos *et al.* (2022), o óleo de Andiroba é rico em ácidos oleico, palmítico, esteárico e linoleico. Essa diversidade de cadeias de carbono afeta a conformação do filme hidrofóbico nas partículas minerais e promove um acondicionamento na superfície

inferior (menos compacto) a um reagente mais homogêneo, devido às diferenças de tamanho e conformação das cadeias hidrocarbônicas dos ácidos graxos presentes no óleo. O que pode justificar diferentes resultados de recuperação para diversos tipos de óleos vegetais.

A Tabela 2 mostra ainda que o maior teor de P_2O_5 , 17,78%, foi alcançado no ensaio 4, quando se utilizou dosagens mínimas de reagentes (200 g/t de coletor de Hidrocol e 100 g/t de depressor). A maior recuperação, de 99,01%, foi obtida no ensaio 9, com as dosagens de reagentes em nível intermediário (350 g/t de coletor Hidrocol e 225 g/t de depressor). O menor teor de P_2O_5 , de 8,58%, e a menor recuperação metalúrgica (1,27%) foram para as condições do ensaio 15, com o óleo de Andiroba (A1), mínima dosagem de coletor e máxima dosagem de depressor. Contudo, apesar das recuperações metalúrgicas apresentadas pelo óleo A1 terem sido mais baixas, nos testes 2 e 8 o concentrado apresentou teores de P_2O_5 de 16,93% e 16,63%, respectivamente. Nesses casos, as condições de dosagem de reagentes foram de intermediárias a máximas. O que confirma os resultados de Santos *et al.* (2022), que alcançou a máxima recuperação de apatita e a melhor seletividade no sistema apatita/carbonato em concentrações do óleo de Andiroba mais altas do que as relatadas na literatura ao comparar com o oleato de sódio puro.

Nos testes de flotação com o Hidrocol saponificado, a espuma apresentou bolhas pequenas e mineralizadas, como pode ser observado na Figura 3. Contudo, utilizando o óleo de Andiroba, observou-se menor quantidade de bolhas, sendo maiores e pouco mineralizada, como ilustrado na Figura 4. Indicando ausência de ação espumante no coletor de óleo de Andiroba, para as condições testadas.

Essa diferença nas bolhas obtidas com os reagentes pode estar relacionada ao pH da flotação. Os resultados de microflotação realizados por Santos *et al.* (2022) com o coletor de óleo de Andiroba mostraram que o pH de máxima flotabilidade de apatita foi igual a 7,5. Em pH mais alcalino observaram uma queda na flotabilidade da apatita. Nesse estudo o pH manteve-se entre 9,4 a 9,6, provavelmente devido ao hidróxido de sódio adicionado na

preparação dos reagentes, a alcalinidade do meio pode ter afetado a especiação do reagente, que estava predominantemente na forma iônica, prejudicando a espumação.



Figura 3: Flotado com o Hidrocol



Figura 4: Flotado com o óleo A1

Essas discussões podem ser confirmadas por meio da análise estatística. A Figura 5 mostra os efeitos significativos no teor de P_2O_5 , observa-se que a interação entre o tipo de coletor e a sua dosagem (AB) possui significância, com efeito negativo sobre o teor de P_2O_5 , ou seja, o aumento simultâneo desses dois fatores diminui o seu valor, para a faixa avaliada.

A equação 2 apresenta o modelo correspondente a Figura 5. Pode-se observar que o coeficiente que acompanha o termo de interação AB é relativamente maior que os demais, o que indica sua maior significância.

Além disso, vale destacar que o sinal negativo que o acompanha revela um decréscimo na % de P_2O_5 quando se passa simultaneamente A e B do nível baixo para o nível alto. Neste sentido, espera-se que os maiores valores de % de P_2O_5 sejam alcançados com A no nível baixo (-1) e B no nível alto (+1). O sinal negativo que acompanha o coeficiente de AB faz com que o termo de interação esteja à esquerda da reta normal no gráfico da Figura 5.

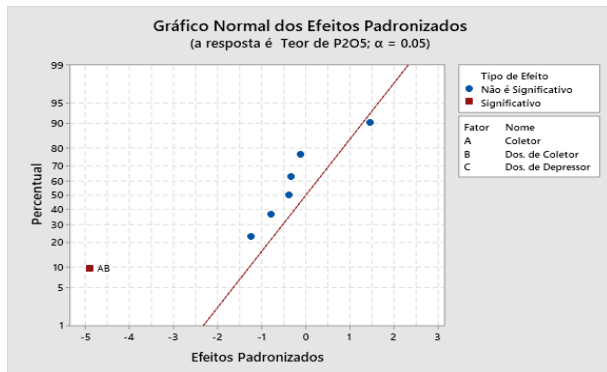


Figura 5: Significância das variáveis independentes sobre o teor de P_2O_5

$$\% P_2O_5 = 13,568 - 0,557A - 0,074B - 0,499C - 3,094AB - 0,204AC + 0,916BC - 0,239ABC \quad (2)$$

Para a recuperação metalúrgica, observou-se que o tipo de coletor (A) e sua dosagem (B) também possuem significância sobre a operação, porém apresentam-se como efeitos principais significativos, diferente da análise anterior, conforme exposto na Figura 6. O efeito positivo para as variáveis A e B indicam que passando do nível -1 (óleo A1) para o nível +1 (Hidrocol) aumentou a recuperação metalúrgica, conforme discutido anteriormente. Da mesma forma, o aumento da dosagem de coletor, leva a uma maior hidrofobização superficial e maior coleta de partículas pelas bolhas de ar.

A equação 3 apresenta o modelo correspondente a Figura 6. Observa-se que os coeficientes que acompanham os fatores A e B, são comparativamente maiores que aqueles que acompanham os outros termos. Sendo os sinais desses coeficientes positivos, conclui-se que os níveis de operação que maximizam a recuperação metalúrgica (% RM) é o nível alto (+1) tanto para o fator A (coletor Hidrocol)

quanto para o fator B (dosagem coletor de 500 g/t). Os sinais positivos que acompanham os coeficientes dos fatores A e B, resultam no fato de estes efeitos estarem posicionados à direita da reta normal no gráfico da Figura 6.

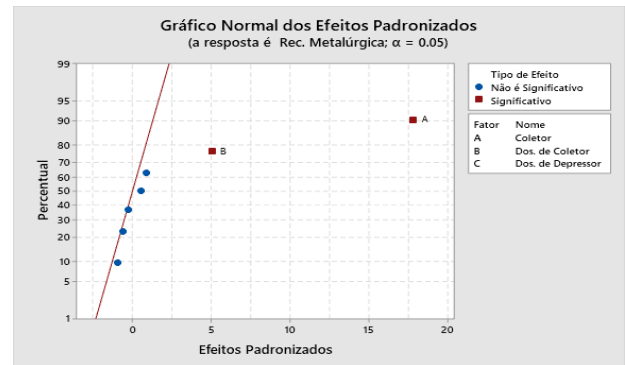


Figura 6: Significância das variáveis independentes sobre a recuperação de P_2O_5 .

$$\% RM = 52,20 + 36,64A + 14,61B + 1,49C - 2,73AB + 2,52AC - 1,82BC - 0,87ABC \quad (3)$$

A Figura 7 ilustra os efeitos principais das variáveis independentes na recuperação de P_2O_5 . Ao passar da dosagem mínima de coletor para a dosagem intermediária, há um aumento na recuperação. Comportamento que se mantém ao aumentar mais ainda a dosagem, passando do nível 0 para +1. Isso mostra que o aumento da dosagem de coletor pode influenciar na hidrofobização dos minerais de ganga, já que o teor de P_2O_5 também diminui nesses casos. O fato da dosagem de depressor não se apresentar como uma variável significativa pode estar ligado a sua menor faixa de variação, podendo em um trabalho futuro, ser testado uma faixa maior de dosagem desse reagente.

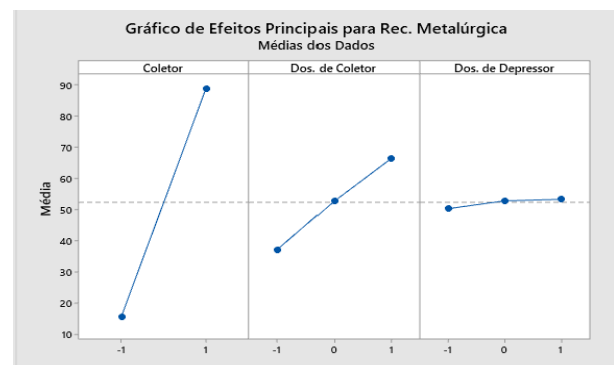


Figura 7: Análise dos efeitos principais sobre a recuperação metalúrgica.

Em um cenário de otimização, a análise estatística também confirmou o observado nos resultados anteriores. Um cenário ótimo seria obtido utilizando o Hidrocol saponificado, com as dosagens mínimas de reagentes, com um teor de P_2O_5 de 17,13% e uma recuperação metalúrgica de 69,75%. Todas essas observações da variação das dosagens de reagentes sobre o teor de P_2O_5 são apresentadas também na Figura 8.

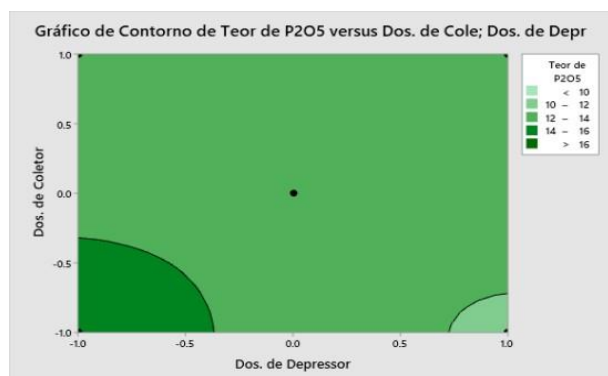


Figura 8: Contorno de teor de P_2O_5 versus dosagens de reagentes.

Um outro cenário ótimo, fixando o óleo de Andiroba como coletor, contempla as maiores dosagens, ou seja, 500 g/t de coletor e 350 g/t de depressor, retornando um teor de P_2O_5 de 17,58% e recuperação metalúrgica de 30,41%.

Por fim, as relações CaO/P_2O_5 , Al_2O_3/P_2O_5 e Fe_2O_3/P_2O_5 , de modo geral, diminuíram. No caso da razão CaO/P_2O_5 , foi maior que 1,6. A razão Fe_2O_3/P_2O_5 permaneceu abaixo de 0,095. A razão Al_2O_3/P_2O_5 também permaneceu abaixo de 0,095, com exceção dos ensaios 1, 12 e 15. Apesar de não terem atingido os valores especificados por Oliveira (2007), como os parâmetros de mercado, houve uma diminuição dos valores dessas razões em relação aos valores iniciais. Esse ganho de seletividade indica que o óleo de Andiroba tem alto potencial como recurso renovável para a produção de coletores de flotação seletiva como alternativas aos tradicionalmente utilizados em circuitos de concentração de fosfato.

CONCLUSÕES

Os ensaios de flotação revelaram distintas características dos reagentes utilizados. Ao utilizar Hidrocol, a flotação apresentou um

grande número de bolhas, pequenas e bem mineralizadas. Ao utilizar o óleo de Andiroba, a flotação apresentou pequeno número de bolhas, grandes e pouco mineralizadas. Consequentemente, observou uma queda na recuperação metalúrgica quando o óleo foi empregado como coletor, devido à escassez de espuma. O que pode estar relacionada ao pH que permaneceu entre 9,4 a 9,6 no condicionamento e na flotação.

Em relação aos teores de P_2O_5 obtidos, os ensaios apresentaram teores, em geral, acima de 10% (exceto ensaio 15) e a recuperação metalúrgica permaneceu entre 1,27% e 97,92%. Os resultados das análises químicas, juntamente com a análise estatística mostraram que o tipo de coletor e sua dosagem possuem significância no processo. Em um cenário ótimo, deveria ser utilizado o Hidrocol saponificado como coletor com dosagens mínimas de coletor e depressor. Caso seja fixado o óleo de Andiroba saponificado, seriam necessárias maiores dosagens desses mesmos reagentes para flotação de apatita.

De forma geral, apesar dos valores de recuperação metalúrgica obtidos pelo óleo A1 serem inferiores aos valores obtidos nos ensaios utilizando Hidrocol saponificado, as análises química e estatística mostraram que esse coletor apresentou seletividade frente aos carbonatos. Esse indício indica que é um reagente promissor. Além disso, torna-se interessante por se tratar de um reagente oriundo de uma substância residual, originário de uma espécie vegetal endêmica da Amazônia. Tal fato é muito importante na busca por reagentes alternativos, seletivos, de baixo custo, e com disponibilidade que possam ser aplicados na indústria mineral.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa parceira pelo fornecimento da amostra e pelas análises químicas realizadas. Ao laboratório de Tratamento de Minérios do Departamento de Minas e Construção Civil do CEFET, campus Araxá, por possibilitar a realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- BENITE, V. M. (2015) A importância da pesquisa na avaliação da eficiência das tecnologias em fertilizantes fosfatados no Brasil. Boletim Informativo da SBCS. Rio Verde- GO.
- CARNEIRO, A. A. (2018) Avaliação de diferentes tipos de amido na flotação aniônica direta de minério fosfático sílico- carbonatado. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gérias, Araxá.
- CARNEIRO, A. A.; SANTOS, A. M. A.; ALVES, J. V. S.; OLIVEIRA, M. S., GUIMARÃES JUNIOR, M. (2021) Avaliação de Diferentes Polissacarídeos Como Depressores na Flotação Anônica Direta de Minério Fosfático Ultrafino. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2.
- CRUZ, J. R.; SOUZA FILHO, C. R.; ABRAM, M. B.; MARCON, R. (2011) Caracterização Espectral do Depósito de Fosfato de Araxá (MG). *Anais...Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Curitiba, p 3530.
- EPE: Empresa de Pesquisa Energética. Competitividade do Gás Natural: Estudo de Caso na Indústria de Fertilizantes Nitrogenados. 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/EPE-DEA-IT-01-19%20>.
- GRASSO, C. B. (2015) Geologia e Geometalurgia dos Minérios dos Minérios de Fosfato na Base do Manto de Intemperismo da Mina do Barreiro. Universidade de Brasília. Tese (Doutorado). Brasília-DF.
- GUIMARÃES, G. C.; LIMA, R. M. F.; OLIVEIRA, M. L. M. (2004) Flotação de Diferentes Tipologias de Minério Fosfático de Tapira/MG, Usando o Coletor Óleo de Soja Hidrogenado. *Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, 57(3), 203-207.
- MARTINS, R. L.; OLIVEIRA, O. S.; SANTOS, G.O.; SANTOS, A.M.A.; PAIVA, A. H. L.; SANTOS, L. H. (2019) Estudo de coletores para apatita obtidos via saponificação/neutralização alcoólica. In: XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa; Belo Horizonte. (ENTMME).
- OLIVEIRA, M. S. (2007) Minério Fosfático Sílico-Carbonatado. [Tese de Doutorado]. Tecnologia Mineral. UFMG, Belo Horizonte.
- OLIVEIRA P.; MANSUR, H.; MANSUR, A.; SILVA, G. D. A.; PERES, A. E. C. (2019) Apatite flotation using pataua palm tree oil as collector. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 8, n 5.
- PAIVA, A. H. L. (2019) Estudo de Óleos Amazônicos na Flotação da Apatita. 2019. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá.
- REETZ, H. F. (2017) Fertilizantes e Seu Uso Eficiente. Tradução: Alfredo Scheid Lopes. – São Paulo: ANDA, 178 p.
- SAMPAIO, J. A.; SILVA, F. A. N. G. (2007) Determinação das Densidades de Sólidos e de Polpa. In: SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. Tratamento de Minérios Práticas Laboratoriais. CETEM/MCT, Rio de Janeiro.
- SANTOS, K. F. (2017) Flotação de minério fosfático sílico-carbonatado. 2017. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá.
- SANTOS, L. H.; GUILHERME OTÁVIO SANTOS, G.O.; MAGALHÃES, L. F. SILVA, G. R.; PERES, A. E. C. (2022) Application of Andiroba oil as a novel collector in apatite flotation. *Minerals Engineering*, 185 (2022): 107678.
- SILVA, J. A. P.; CARDOZO, N. S. M.; PETZHOLD, C. L. (2018) Enzymatic synthesis of Andiroba oil based polyol for the production of flexible polyurethane foams. *Industrial Crops and Products*. 113, 55-63.
- SOUZA ALDES, ALBUQUERQUE RODE, LAMEIRAS FS, PRAES PE, PERES AEC. (2014) Use of depressants in the direct flotation of a silicate-carbonate phosphate ore. *Revista Escola de Minas*, v. 67, n 2, Ouro Preto.