



# Análise estatística da microflotação de minerais em tubo de Hallimond

Ester de Oliveira Silva  
Denilson da Silva Costa

**Agência financiadora:** FAPESPA

**Palavras chave:** Flotação, óleo residual, resíduo

## 1. INTRODUÇÃO

Estudos feitos por Costa (2012) demonstram que os óleos vegetais amazônicos apresentam resultados positivos na recuperação de minerais fosfáticos, representando uma possível alternativa para os coletores utilizados atualmente. De modo semelhante, estudos comprovam a efetividade de óleo residual como reagente coletor na flotação de fosfato. (OLIVEIRA E COSTA, 2015)

Desta maneira, este trabalho visa a avaliação das variáveis presentes no processo de flotação de apatita com reagente coletor produzido a partir de óleos vegetais amazônicos e óleo residual de fritura, buscando a agregação de valor a insumos regionais e a possibilidade de reutilização de um resíduo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O mineral passou por processos de cominuição com o auxílio de almofariz e pistilo, homogeneização e adequação granulométrica às faixas 1 (entre 300 $\mu$ m (48#) - 180 $\mu$ m (80#)) e 2 (Entre 180 $\mu$ m (80#) - 106 $\mu$ m (150#)). O óleo residual de fritura foi adquirido junto aos estabelecimentos comerciais da cidade de Marabá-PA. Os óleos vegetais oriundos da floresta amazônica foram extraídos, por prensagem mecânica, da polpa de buriti e da semente de maracujá. A composição de ácidos graxos insaturados foi obtida por Cromatografia Gasosa (CG), onde destaca-se o óleo de buriti com 70,55% de ácido oleico, óleo de maracujá com 48,82% de ácido linoleico e o óleo residual de fritura com 54% de ácido linoleico.

Para a saponificação dos óleos utilizou-se a metodologia de Costa et al. (2017), onde a hidrólise alcalina de cada óleo foi feita usando 2 g de óleo e 50 mL de solução alcoólica de NaOH a 2% (m/m).

O planejamento inicial dos testes de flotação para os óleos de buriti e maracujá foi feito através do *software* Minitab, utilizando a metodologia *Plackett-Burman*. Para a alimentação do *software*, foram determinados valores mínimos e máximos para cada uma das seis variáveis, que são: pH (9,5 e 10,5), concentração do reagente coletor (4,5 e 7,5 mg/L), tempo de condicionamento (4 e 7 min), tempo de flotação (1 e 2 min), vazão de ar (40 e 50 cc/min) e granulometria do material (faixas 1 e 2), os valores utilizados foram obtidos na literatura.

Em relação ao óleo residual de fritura, as únicas diferenças dos valores de entrada dos demais óleos foram as concentrações mínima e máxima, visto que há uma melhor flotabilidade da apatita quando se utiliza concentrações acima de 90mg/L para o óleo residual de fritura. (OLIVEIRA E COSTA, 2015). Dessa forma, as concentrações mínima e máxima adotadas foram 100 mg/L e 130 mg/L.

Os testes de microflotação foram feitos em tubo de *Hallimond* modificado, montado em uma chapa agitadora magnética, usando 1 g de apatita e aproximadamente 400 ml do reagente coletor. As demais variáveis foram ajustadas de acordo com o planejamento experimental. Após cada teste, a fração flotada e afundada era coletada, filtrada em papel de filtro, colocada em estufa para secar por 24h e então pesada afim de se obter a flotabilidade do mineral. A recuperação é calculada dividindo a massa flotada pela massa total.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da amostra por fluorescência de Raios-X (FRX) mostrou que a composição da apatita utilizada é: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 38,49%; K<sub>2</sub>O - 4,20%; CaO - 54,02%; SiO<sub>2</sub> - 1,10%. Todos os óleos responderam positivamente à metodologia de hidrólise alcalina (saponificação) aplicada, obtendo êxito nos três processos.

**Tabela 1:** Testes de microflotação e seus respectivos resultados de recuperação com óleo de buriti

Ordem do Ensaio	pH	Concent Coletor	Tempo Cond	Tempo Flotação	Vazão Ar	Faixa Granu	Recuperação (%)
1	9,5	7,5	7	1	50	1	93,1
2	10,5	7,5	4	2	50	1	90,8
3	9,5	4,5	4	1	40	1	56
4	9,5	4,5	4	2	50	2	92,5
5	10,5	4,5	7	1	40	1	68,1
6	10,5	7,5	7	1	50	2	88,1
7	10,5	4,5	7	2	40	2	93,1
8	10,5	7,5	4	2	40	1	87,5
9	9,5	7,5	7	2	40	2	95,3
10	9,5	4,5	7	2	50	1	99,4
11	10,5	4,5	4	1	50	2	91
12	9,5	7,5	4	1	40	2	84,6

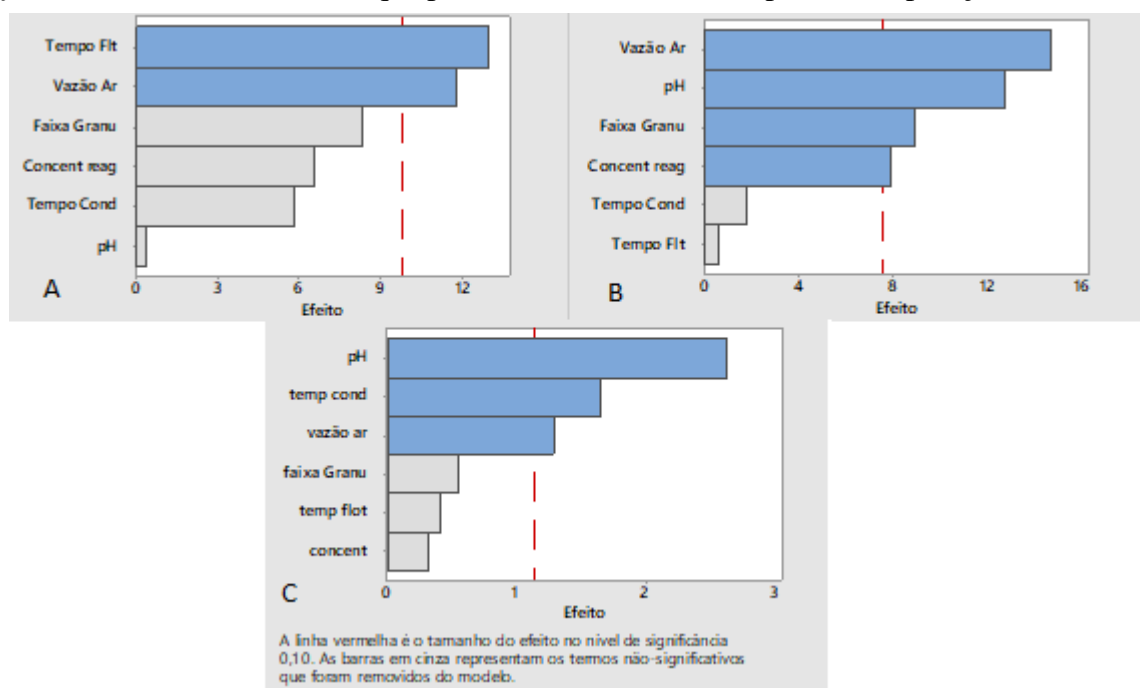
**Tabela 2:** Testes de microflotação e seus respectivos resultados de recuperação com óleo de maracujá

Ordem do Ensaio	pH	Concent Coletor	Tempo Cond	Tempo Flotação	Vazão Ar	Faixa Granu	Recuperação (%)
1	9,5	7,5	7	1	50	1	94,3
2	10,5	7,5	4	2	50	1	87,9
3	9,5	4,5	4	1	40	1	76
4	9,5	4,5	4	2	50	2	88,4
5	10,5	4,5	7	1	40	1	59
6	10,5	7,5	7	1	50	2	88,1
7	10,5	4,5	7	2	40	2	67,9
8	10,5	7,5	4	2	40	1	58
9	9,5	7,5	7	2	40	2	97,8
10	9,5	4,5	7	2	50	1	84,2
11	10,5	4,5	4	1	50	2	87
12	9,5	7,5	4	1	40	2	83,4

**Tabela 3:** Testes de microflotação e seus respectivos resultados de recuperação com óleo residual de fritura

Ordem do Ensaio	pH	Concent Coletor	Tempo Cond	Tempo Flotação	Vazão Ar	Faixa Granu	Recuperação (%)
1	10,5	100	4	2	40	1	92,3
2	10,5	100	4	1	50	2	91
3	9,5	130	4	1	50	1	88,1
4	10,5	100	7	2	50	1	93,2
5	9,5	100	7	2	40	2	90
6	9,5	100	7	1	50	2	89,3
7	9,5	130	4	2	40	2	89,4
8	10,5	130	7	1	40	2	94,3
9	10,5	130	7	1	40	1	92,7
10	10,5	130	4	2	50	2	88,4
11	9,5	130	7	2	50	1	89,5
12	9,5	100	4	1	40	1	89,2

Após o preenchimento dos dados de recuperação no planejamento experimental, o *software* forneceu as variáveis que possuem maior influência para a recuperação.



**Figura 1:** Variáveis influenciadoras para óleo de buriti (A), maracujá (B) e residual (C)

Na **figura A** as barras azuis compreendem o tempo de flotação e a vazão de ar como sendo estas variáveis, onde 54,41% da variação na recuperação podem ser explicadas por elas para o óleo de buriti. Na **figura B**, temos a vazão de ar, pH, faixa granulométrica e concentração que respondem por 82,53% da variação para o óleo de maracujá. Na **figura C**, a variação de 79,02% pode ser explicada pelas variáveis pH, tempo de condicionamento e vazão de ar para o óleo residual.

Para o óleo de buriti, o tempo de flotação e a vazão de ar representam variáveis estatisticamente influenciadoras na recuperação da apatita. O valor máximo das demais variáveis também representam maior flotabilidade, exceto o pH, que não apresentou ganhos para valor acima de 9,5, que é a faixa comumente utilizada na indústria.

Em relação ao óleo de maracujá, uma vazão de ar em torno de 50 cm<sup>3</sup>/L representa aumento significativo da flotabilidade da apatita, visto que, segundo Baltar (2008), a função da aeração é abastecer o sistema de pequenas bolhas que serão responsáveis pelo transporte das partículas hidrofóbicas. pH acima de 9,5 para o coletor não apresenta ganhos na flotabilidade, sendo o pH 9,5 o de maior retorno para a recuperação. A granulometria mais fina apresentou melhor desempenho nos testes de flotação com óleo de maracujá. A concentração maior do reagente apresentou melhor resultado na flotabilidade da apatita.

O óleo residual apresentou melhores resultados, entretanto, sua concentração foi consideravelmente maior para que se obtivesse tal resultado. Em pH mais elevado, em torno de 10,5 (pH original da solução sem necessidade de ajustes) a flotabilidade se apresentou mais contudente, entretanto, é válido ressaltar que se fez necessário o ajuste do pH 9,5 utilizando ácido HCl, o que pode ter liberado íons que interferiram em uma melhor flotabilidade com este pH. Granulometria maior (faixa 1) e tempo menor apresentaram melhor contribuição para a flotabilidade. A concentração acima de 100mg/L não apresentou ganhos para os resultados.

Ademais, é notório o bom desempenho de ambos os óleos como reagentes coletores na flotação de apatita. Isto pode ser atribuído ao fato destes óleos possuírem quantidade significativa de ácidos graxos insaturados que, segundo Costa (2012) e Brandão, Caires e Queiroz (1994), ácidos graxos insaturados (oleico, linoleico, linolênico) apresentam maior desempenho na flotação de apatita do que ácidos graxos saturados (láurico, mirístico, etc.).

#### 4. CONCLUSÃO

Com a finalização dos testes de microflotação e o resultado obtido através do software Minitab foi possível verificar diferenças entre as variáveis de maior influência, a depender do reagente coletor. Entretanto, a variável “vazão de ar” esteve presente em todos os resultados. Deste modo, o refinamento do planejamento das variáveis de influência apresenta-se como possibilidade de estudos futuros.

Através dos resultados obtidos em termos de flotabilidade, foi possível perceber a eficácia dos óleos utilizados como reagentes coletores na flotação de apatita, apresentando-se como potenciais alternativas de utilização em escala industrial, visto que os reagentes utilizados atualmente são dispendiosos e por muitas vezes produzidos fora do país. Assim, a utilização de óleo de buriti, maracujá e residual como reagente coletor na indústria desencadearia ganhos e uma maior visibilidade para a região amazônica (óleos vegetais), além de importante contribuição para o setor mineral de maneira sustentável, reutilizando um material de descarte (óleo residual de fritura).

#### 5. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

BALTAR, C. *Flotação no tratamento de minério*. Recife: UFPE, 2008.

BRANDÃO, P. R. G.; CAIRES, L. G.; QUEIROZ, D. S. B. *Vegetable lipid oil-based collectors in the flotation of apatite ores*. *Minerals Eng.*, v. 7, n. 7, p. 917-925, 1994.

COSTA, D. R. et al. *Influência do tempo de armazenamento de óleos vegetais amazônicos saponificados na flotabilidade da apatita*. In: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, Belém, 2017.

COSTA, D. S. *Uso de óleos vegetais amazônicos na flotação de minérios fosfáticos*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

MARTINS, M. *Molhabilidade de apatita e sua influência na flotação*. 2009. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mineral, Engenharia de Minas e Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, J. E. J. C; COSTA, D. S. *Óleo residual de fritura como reagente coletor na flotação de minério fosfático*. In: I JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 2015. Disponível em: [https://jepe.unifesspa.edu.br/images/arquivos/anais/Joao\\_Eleuterio\\_Junior\\_da\\_Conceicao\\_Oliveira.pdf](https://jepe.unifesspa.edu.br/images/arquivos/anais/Joao_Eleuterio_Junior_da_Conceicao_Oliveira.pdf) . Acesso em: 10 jun. 2018.